

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-127798

(43)Date of publication of application : 11.05.2001

(51)Int.Cl.

H04L 12/56  
H04B 10/02  
H04J 14/00  
H04J 14/02  
H04B 17/00  
H04L 12/28  
H04L 12/437  
H04L 12/24  
H04L 12/26  
H04Q 3/52

(21)Application number : 11-309930

(71)Applicant : FUJITSU LTD

(22)Date of filing : 29.10.1999

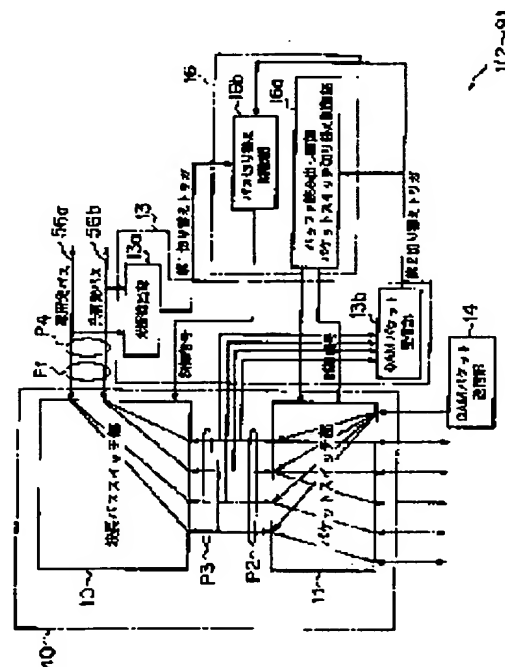
(72)Inventor : NISHI TETSUYA  
KUROYANAGI TOMOJI

(54) OPTICAL NODE, OPTICAL NODE FOR TRANSMISSION, OPTICAL NODE FOR RECEPTION AND METHOD FOR RECOVERING FAULT FOR WAVELENGTH PATH NETWORK

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To decrease number of optical wavelengths used for transmission by allowing each optical IP node to select a wavelength path for a wavelength multiplex optical signal and to select assignment of a transmission IP packet to an optical signal and to make the scale of the optical IP node small in a technology that superimposes the IP packet onto the wavelength multiplex optical signal and transfers the signal.

SOLUTION: The optical IP node 1 is provided with a spatial switch section 40 that receives a wavelength multiplex optical signal and a packet addressed to other station, outputs an optical signal addressed to its own station, multiplexes the optical signal addressed to the other and the optical signal resulting from the packet and provided an output, a transmission line fault detection section 13 that is connected to an input output side of the spatial switch section 40, detects a fault in the transmission line and outputs a detection signal, an OAM packet transmission section 14 that outputs a monitor packet at a prescribed time interval, and a fault recovery control section 16 that is connected to the transmission line fault detection section 13, selects each operation signal by each wavelength upon the receipt of the detection signal, selects a wavelength path and outputs the optical signal.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号  
特開2001-127798  
(P2001-127798A)

(43)公開日 平成13年 5月11日 (2001.5.11)

(51)Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テ-マ-ト <sup>*</sup> (参考)
H 0 4 L 12/56		H 0 4 B 17/00	T 5 K 0 0 2
H 0 4 B 10/02		H 0 4 Q 3/52	C 5 K 0 3 0
H 0 4 J 14/00		H 0 4 L 11/20	1 0 2 Z 5 K 0 3 1
14/02		H 0 4 B 9/00	T 5 K 0 3 3
H 0 4 B 17/00			E 5 K 0 4 2

審査請求 未請求 請求項の数23 O L (全 47 頁) 最終頁に続く

(21)出願番号 特願平11-309930

(22)出願日 平成11年10月29日 (1999. 10. 29)

(71)出願人 000005223

富士通株式会社

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番  
1号

(72)発明者 西 哲也

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番  
1号 富士通株式会社内

(72)発明者 黒柳 智司

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番  
1号 富士通株式会社内

(74)代理人 100092978

弁理士 真田 有

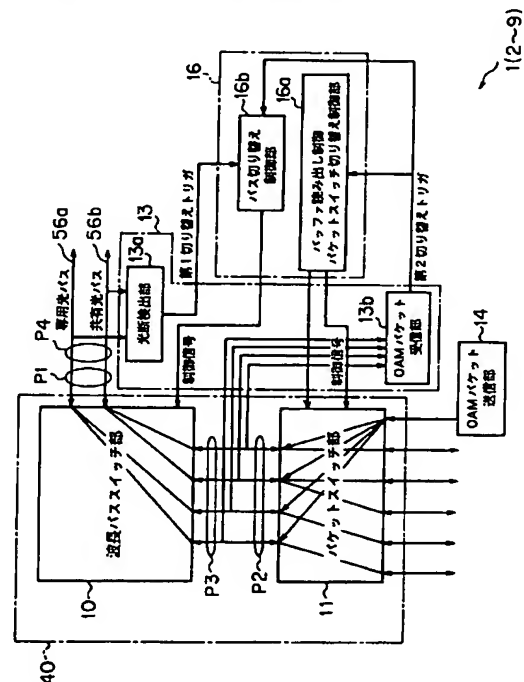
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 光ノード、送信用の光ノード及び受信用の光ノード並びに波長バス網用障害復旧方法

(57)【要約】

【課題】 I P パケットを波長多重光信号に重畳して転送する技術において、各光 I P ノードが、波長多重光信号の波長バス切り替えと、送出 I P パケットの光信号への割り当て切り替えとを行ない、伝送に使用される光波長数の削減が図れるようにし、かつ、光 I P ノードの規模を小型化できるようにする。

【解決手段】 光 I P ノード 1 において、波長多重光信号と他局宛パケットとを入力されて、自局宛の光信号を出力し他局宛光信号と上記パケットに起因する光信号とを多重化出力する空間スイッチ部 40、空間スイッチ部 40 の入出力側に接続され伝送路障害を検出し検出信号を出力する伝送路障害検出部 13、監視パケットを所定時間間隔で出力する O A M パケット送信部 14、伝送路障害検出部 13 に接続され検出信号を受信すると各光信号を波長毎に選択し波長バスを切り替えて光信号を出力する障害復旧制御部 16 をそなえて構成する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 第 1 の宛先アドレスを有するパケットを該第 1 の宛先アドレスに基づき他局光ノードに転送するパケット切り替え部と、該パケット切り替え部に接続され第 2 の宛先アドレスを有するパケットを複数の波長の光信号が多重化された波長多重光信号の波長パスに接続することにより転送する波長パス切り替え部とをそなえて構成された光ノードであって、

2 つの入力ポートと 2 つの出力ポートとを有し、宛先アドレス毎に割り当てられた複数の波長の光信号からなる波長多重光信号と他局アドレスを有するアドパケットとを、上記 2 つの入力ポートからそれぞれ入力されて、該波長多重光信号の中から自局宛の光信号を第 1 の出力ポートからドロップ用の光信号として出力するとともに、該波長多重光信号が含む他局宛の光信号と該他局アドレスを有するアドパケットに起因する光信号とを多重化して第 2 の出力ポートから出力する空間スイッチ部と、電気信号として出力された複数のアドパケットを保持し該空間スイッチ部に入力するバッファとをそなえ、該波長パス切り替え部が、

上記空間スイッチ部の一部分であって該波長多重光信号の各光信号を波長毎に分岐する空間スイッチを設け、該自局宛の光信号を抽出して該ドロップ用の光信号を該第 1 の出力ポートから出力し、該波長多重光信号が含む該他局宛の光信号と該他局アドレスを有するアドパケットに起因する光信号とを多重化して該第 2 の出力ポートから出力するように構成され、

該パケット切り替え部が、

上記空間スイッチ部の残りの部分であって該波長多重光信号の各光信号を波長毎に分岐する空間スイッチと上記バッファとを設け、該波長パス切り替え部から出力された該ドロップ用の光信号に起因するパケットと該バッファからの該複数のアドパケットとを入力され、該第 1 の出力ポートから出力された光信号に起因するパケットと該複数のアドパケットとをそれぞれ該宛先アドレス毎に所定波長を割り当てた光信号として該波長パス切り替え部に入力するように構成されたことを特徴とする、光ノード。

【請求項 2】 宛先アドレス毎に割り当てられた複数の波長の光信号からなる波長多重光信号と他局アドレスを有するアドパケットとをそれぞれ入力されて、該波長多重光信号の中から自局宛の光信号を出力するとともに該波長多重光信号が含む他局宛の光信号と該他局アドレスを有するアドパケットに起因する光信号とを多重化して出力する空間スイッチ部と、電気信号として出力された複数のアドパケットを保持し該空間スイッチ部に入力するバッファと、該空間スイッチ部の入力側と出力側とに接続され、該波長多重光信号に基づいて、伝送路障害の発生を検出し検出信号を出力しうる伝送路障害検出部と、

該伝送路障害検出部に接続され、該伝送路障害検出部からの該検出信号を受信すると、該波長多重光信号の各光信号を波長毎に選択し波長パスを切り替えて該光信号を出力する障害復旧制御部とをそなえ、

該空間スイッチ部に設けられた複数の空間スイッチが、該自局宛の光信号を抽出してドロップ用の光信号として第 1 の出力ポートに出力し、該波長多重光信号が含む該他局宛の光信号と該他局アドレスを有するアドパケットに起因する光信号とを多重化して第 2 の出力ポートから出力する波長パス切り替え部として構成されるとともに、

該空間スイッチ部に設けられた複数の空間スイッチと上記バッファとが、

該波長パス切り替え部の該第 1 の出力ポートから出力された該ドロップ用の光信号に起因するパケットと該バッファからの該複数のアドパケットとを入力され、該第 1 の出力ポートから出力された該ドロップ用の光信号に起因するパケットと該複数のアドパケットとをそれぞれ該宛先アドレス毎に所定波長を割り当てた光信号として該波長パス切り替え部に入力するパケット切り替え部として構成されたことを特徴とする、光ノード。

【請求項 3】 複数の波長の光信号からなる波長多重光信号を受信する第 1 入力ポートと、他局アドレスを有するアドパケットを受信する第 2 入力ポートと、該波長多重光信号の中から自局宛の光信号をドロップ用の光信号として出力する第 1 出力ポートと、該波長多重光信号が含む他局宛の光信号と該他局アドレスを有するアドパケットに起因する光信号とを多重化して出力する第 2 出力ポートとを有する空間スイッチ部をそなえた光ノードであって、

該第 1 出力ポートから出力された該ドロップ用の光信号に起因するパケットと該第 2 入力ポートから入力された該アドパケットとを入力され、該ドロップ用の光信号に起因するパケットと該アドパケットとをそれぞれ宛先アドレス毎に所定波長を割り当てた光信号として出力するパケット切り替え部と、

該第 1 入力ポートから入力された該波長多重光信号から該自局宛の光信号を分岐して該第 1 出力ポートから該ドロップ用の光信号として出力し、該他局宛の光信号と該パケット切り替え部からの光信号とを多重化して該第 2 出力ポートから出力する波長パス切り替え部と、

該空間スイッチ部の入力側と出力側とに接続され、該波長多重光信号に基づいて、伝送路障害の発生を検出し検出信号を出力しうる伝送路障害検出部と、

該伝送路障害検出部に接続され、該伝送路障害検出部からの該検出信号を受信すると、該波長多重光信号の各光信号を波長毎に選択し波長パスを切り替えて光信号を出力する障害復旧制御部とをそなえて構成されたことを特徴とする光ノード。

【請求項 4】 該空間スイッチ部が、

該アドパケットと該ドロップ用の光信号に起因するパケットとを入力される入力ポートと、該宛先アドレスに応じて所定波長に割り当てられた光信号を出力する出力ポートとを有するパケットスイッチを $m$ 個 ( $m$ は整数) そなえた第1パケットスイッチと、  
該波長多重光信号に含まれる複数の相異なる波長の一つを有する光信号を入力される $n$ 入力ポート ( $n$ は整数) と、該複数の相異なる波長の一つと同一の波長を有する光信号を出力する $2n$ 出力ポートとを有する $n \times 2n$ スイッチを $k-m$ 個 ( $k$ は整数) そなえた第1空間スイッチと、  
該第1パケットスイッチからの光信号と該第1空間スイッチからの光信号とを入力される $k$ 入力ポートと、該 $k$ 入力ポートから入力された光信号を所定の方路に選択して出力する $k$ 出力ポートとを有する $k \times k$ スイッチを $2n$ 個そなえた第2空間スイッチと、  
該第2空間スイッチからの光信号を入力される $2n$ 入力ポートと、該 $2n$ 入力ポートから入力された光信号を波長毎に選択して出力する $n$ 出力ポートとを有する $2n \times n$ スイッチを $k-m$ 個そなえた第3空間スイッチと、  
該第2空間スイッチからの光信号を入力される $2n$ 入力ポートと、該 $2n$ 入力ポートから入力された光信号を波長毎に選択して出力する $n$ 出力ポートとを有する $2n \times n$ スイッチを $m$ 個そなえた第4空間スイッチとをそなえて構成されたことを特徴とする、請求項1～請求項3のいずれか一項記載の光ノード。

【請求項5】 該空間スイッチ部が、  
該アドパケットと該ドロップ用の光信号に起因するパケットとを入力される $k$ 入力ポート ( $k$ は整数) と、宛先アドレスに応じて所定波長に割り当てられた光信号を出力する $2k$ 出力ポートとを有するパケットスイッチを $m$ 個 ( $m$ は整数) そなえた第2パケットスイッチと、  
該波長多重光信号を入力される $k$ 入力ポートと、同一の波長を有する光信号を分岐出力する $2k$ 入力ポートとを有する $k \times 2k$ スイッチを $n-m$ 個 ( $n$ は整数) そなえた第5空間スイッチと、  
該第2パケットスイッチの該パケットスイッチのそれぞれから出力された $m$ 本の光信号と該第5空間スイッチの $k \times 2k$ スイッチのそれぞれから出力された $n-m$ 本の光信号とを合波してその合波により波長多重された光信号を $n$ 本に分岐出力する光プラを $2k$ 個そなえた光分岐部と、  
該光分岐部から出力されたその合波による波長多重光信号を入力される $2k$ 入力ポートと、該 $2k$ 入力ポートから入力されたその合波による波長多重光信号を波長多重された状態で出力する $k$ 出力ポートとを有する $2k \times k$ スイッチを $n-m$ 個そなえた第6空間スイッチと、  
該光分岐部から出力されたその合波による波長多重光信号を入力される $2k$ 入力ポートと、該 $2k$ 入力ポートから入力されたその合波による波長多重光信号を波長多重

された状態で出力する $k$ 出力ポートとを有する $2k \times k$ スイッチを $m$ 個そなえた第7空間スイッチと、  
該第6空間スイッチからの光信号と該第7空間スイッチからの光信号とを入力されこれらの光信号に含まれる特定波長の光信号を選択して出力する光フィルタを $n \times k$ 個そなえた波長選択部とをそなえて構成されたことを特徴とする、請求項1～請求項3のいずれか一項記載の光ノード。

【請求項6】 該伝送路障害検出部が、  
該空間スイッチ部の入力側に接続され、該波長多重光信号が受信されないと第1切替トリガを出力する光断検出部と、  
該空間スイッチ部の出力側に接続され、所定の時間間隔で送信されている電気信号としてのパケットを受信し該パケットが受信されないと第2切替トリガを出力する監視パケット受信部とをそなえて構成されていることを特徴とする、請求項2又は請求項3記載の光ノード。

【請求項7】 該障害復旧制御部が、  
該光断検出部及び該監視パケット受信部とに接続され、該光断検出部からの該第1切替トリガ若しくは該監視パケット受信部からの該第2切替トリガが入力されてから所定時間を経過すると伝送路障害を検出して、該空間スイッチ部の光信号を選択してその方路の切り替え制御を行なうパス切り替え制御部と、  
該監視パケット受信部に接続され、該監視パケット受信部からの該第2切替トリガが入力されてから所定時間を経過すると伝送路の障害を検出して、該バッファに保持された該複数のアドパケットを読み出す順番を変更し、該空間スイッチ部の光信号を選択してその方路の切り替え制御を行なうバッファ読み出し／パケットスイッチ切り替え制御部とをそなえて構成されていることを特徴とする、請求項6記載の光ノード。

【請求項8】 第1の宛先アドレスを有するパケットを該第1の宛先アドレスに基づき他局光ノードに転送するパケット切り替え部と、該パケット切り替え部に接続され第2の宛先アドレスを有するパケットを複数の波長の光信号が多重化された波長多重光信号の波長パスに接続することにより転送する波長パス切り替え部とをそなえて構成された送信用の光ノードであって、  
2つの入力ポートと2つの出力ポートとを有し、宛先アドレス毎に割り当てられた複数の波長の光信号からなる波長多重光信号と他局アドレスを有するアドパケットとを、上記2つの入力ポートからそれぞれ入力されて、該波長多重光信号の中から自局宛の光信号を第1の出力ポートからドロップ用の光信号として出力するとともに、該波長多重光信号が含む他局宛の光信号と該他局アドレスを有するアドパケットに起因する光信号とを多重化して第2の出力ポートから出力する空間スイッチ部と、  
電気信号として出力された複数のアドパケットを保持し該空間スイッチ部に入力するバッファとをそなえ、

電気信号としてのパケットを所定の時間間隔で出力する監視パケット送信部とをそなえ、

該波長パス切り替え部が、

上記空間スイッチ部の一部分であって該波長多重光信号の各光信号を波長毎に分岐する空間スイッチを設け、該自局宛の光信号を抽出して該ドロップ用の光信号を該第1の出力ポートから出力し、該波長多重光信号を含む該他局宛の光信号と該他局アドレスを有するアドパケットに起因する光信号とを多重化して該第2の出力ポートから出力するように構成され、

該パケット切り替え部が、

上記空間スイッチ部の残りの部分であって該波長多重光信号の各光信号を波長毎に分岐する空間スイッチと上記バッファとを設け、該波長パス切り替え部から出力された該ドロップ用の光信号に起因するパケットと該バッファからの該複数のアドパケットとを入力され、該第1の出力ポートから出力された光信号に起因するパケットと該複数のアドパケットとをそれぞれ該宛先アドレス毎に所定波長を割り当てた光信号として該波長パス切り替え部に入力するように構成されたことを特徴とする、送信用の光ノード。

【請求項9】 第1の宛先アドレスを有するパケットを該第1の宛先アドレスに基づき他局光ノードに転送するパケット切り替え部と、該パケット切り替え部に接続され第2の宛先アドレスを有するパケットを複数の波長の光信号が多重化された波長多重光信号の波長パスに接続することにより転送する波長パス切り替え部とをそなえて構成された受信用の光ノードであって、

2つの入力ポートと2つの出力ポートとを有し、宛先アドレス毎に割り当てられた複数の波長の光信号からなる波長多重光信号と他局アドレスを有するアドパケットとを、上記2つの入力ポートからそれぞれ入力されて、該波長多重光信号の中から自局宛の光信号を第1の出力ポートからドロップ用の光信号として出力するとともに、該波長多重光信号を含む他局宛の光信号と該他局アドレスを有するアドパケットに起因する光信号とを多重化して第2の出力ポートから出力する空間スイッチ部と、電気信号として出力された複数のアドパケットを保持し該空間スイッチ部に入力するバッファと、

該空間スイッチ部の出力側に接続され、所定の時間間隔で送信されている電気信号としてのパケットを受信し該パケットが受信されないと第2切替トリガを出力する監視パケット受信部と、

該監視パケット受信部に接続され、該監視パケット受信部からの該第2切替トリガが入力されてから所定時間を経過すると伝送路の障害を検出して、該バッファに保持された該複数のアドパケットを読み出す順番を変更し、該空間スイッチ部の光信号を選択してその方路の切り替え制御を行なうバッファ読み出し／パケットスイッチ切り替え制御部と、

該監視パケット受信部に接続され、該監視パケット受信部からの該第2切替トリガが入力されてから所定時間を経過すると伝送路障害を検出して、該空間スイッチ部の光信号を選択してその方路の切り替え制御を行なうパス切り替え制御部とをそなえ、

該波長パス切り替え部が、

上記空間スイッチ部の一部分であって該波長多重光信号の各光信号を波長毎に分岐する空間スイッチを設け、該自局宛の光信号を抽出して該ドロップ用の光信号を該第1の出力ポートから出力し、該波長多重光信号を含む該他局宛の光信号と該他局アドレスを有するアドパケットに起因する光信号とを多重化して該第2の出力ポートから出力するように構成され、

該パケット切り替え部が、

上記空間スイッチ部の残りの部分であって該波長多重光信号の各光信号を波長毎に分岐する空間スイッチと上記バッファとを設け、該波長パス切り替え部から出力された該ドロップ用の光信号に起因するパケットと該バッファからの該複数のアドパケットとを入力され、該第1の出力ポートから出力された光信号に起因するパケットと該複数のアドパケットとをそれぞれ該宛先アドレス毎に所定波長を割り当てた光信号として該波長パス切り替え部に入力するように構成されたことを特徴とする、受信用の光ノード。

【請求項10】 第1の宛先アドレスを有するパケットを該第1の宛先アドレスに基づき他局光ノードに転送するパケット切り替え部と、該パケット切り替え部に接続され第2の宛先アドレスを有するパケットを複数の波長の光信号が多重化された波長多重光信号の波長パスに接続することにより転送する波長パス切り替え部とをそなえて構成された光ノードであって、

2つの入力ポートと2つの出力ポートとを有し、宛先アドレス毎に割り当てられた複数の波長の光信号からなる波長多重光信号と他局アドレスを有するアドパケットとを、上記2つの入力ポートからそれぞれ入力されて、該波長多重光信号の中から自局宛の光信号を第1の出力ポートからドロップ用の光信号として出力するとともに、該波長多重光信号を含む他局宛の光信号と該他局アドレスを有するアドパケットに起因する光信号とを多重化して第2の出力ポートから出力する空間スイッチ部と、電気信号として出力された複数のアドパケットを保持し該空間スイッチ部に入力するバッファと、該空間スイッチ部の入力側に接続され、該波長多重光信号が受信されないと第1切替トリガを出力する光断検出部と、

該空間スイッチ部の出力側に接続され、所定の時間間隔で送信されている電気信号としてのパケットを受信し該パケットが受信されないと第2切替トリガを出力する監視パケット受信部と、

該光断検出部及び該監視パケット受信部とに接続され、

該光断検出部からの該第 1 切替トリガ若しくは該監視パケット受信部からの該第 2 切替トリガが入力されてから所定時間を経過すると伝送路障害を検出して、該空間スイッチ部の光信号を選択してその方路の切り替え制御を行なうパス切り替え制御部と、

該監視パケット受信部に接続され、該監視パケット受信部からの該第 2 切替トリガが入力されてから所定時間を経過すると伝送路の障害を検出して、該バッファに保持された該複数のアドパケットを読み出す順番を変更し、該空間スイッチ部の光信号を選択してその方路の切り替え制御を行なうバッファ読み出し／パケットスイッチ切り替え制御部とをそなえ、

該波長パス切り替え部が、

上記空間スイッチ部の一部分であって該波長多重光信号の各光信号を波長毎に分岐する空間スイッチを設け、該自局宛の光信号を抽出して該ドロップ用の光信号を該第 1 の出力ポートから出力し、該波長多重光信号が含む該他局宛の光信号と該他局アドレスを有するアドパケットに起因する光信号とを多重化して該第 2 の出力ポートから出力するように構成され、

該パケット切り替え部が、

上記空間スイッチ部の残りの部分であって該波長多重光信号の各光信号を波長毎に分岐する空間スイッチと上記バッファとを設け、該波長パス切り替え部から出力された該ドロップ用の光信号に起因するパケットと該バッファからの該複数のアドパケットとを入力され、該第 1 の出力ポートから出力された光信号に起因するパケットと該複数のアドパケットとをそれぞれ該宛先アドレス毎に所定波長を割り当てた光信号として該波長パス切り替え部に入力するように構成されたことを特徴とする、受信用の光ノード。

【請求項 11】 該バッファ読み出し／パケットスイッチ切り替え制御部が、該所定時間の間隔を可変に示るように構成されるとともに、

該パス切り替え制御部が、該所定時間の間隔を可変に示るように構成されたことを特徴とする、請求項 10 記載の受信用の光ノード。

【請求項 12】 第 1 の宛先アドレスを有するパケットを該第 1 の宛先アドレスに基づき他局光ノードに転送するパケット切り替え部と、該パケット切り替え部に接続され第 2 の宛先アドレスを有するパケットを複数の波長の光信号が多重化された波長多重光信号の波長パスに接続することにより転送する波長パス切り替え部とをそなえてなる光ノードが相互に接続された波長パス網における、波長パス網用障害復旧方法であって、

該第 1 の宛先アドレス毎に割り当てられた複数の波長の光信号からなる波長多重光信号を受信し該波長多重光信号から該自局宛の光信号と該他局宛の光信号とをそれぞれ出力する入力パケット処理ステップと、

該入力パケット処理ステップにて出力された光信号から

パケットをデコードして、デコードされたパケットと電気信号として出力された複数のアドパケットとをそれぞれ該宛先アドレス毎に所定波長を有する光信号に割り当てて出力する出力パケット処理ステップと、

該出力パケット処理ステップにて割り当てられた該光信号の宛先光ノードの数を抽出するノード数抽出ステップと、

該波長パスを確保すべく、該入力パケット処理ステップにて出力された光信号と該出力パケット処理ステップにて出力された光信号とに所定波長を割り当てて光信号を出力する波長パス処理ステップと、

該波長多重光信号に基づいて、伝送路障害の発生を検出し検出信号を出力しうる伝送路障害検出ステップと、

該ノード数抽出ステップの該宛先ノードの数に基づいて、

該パケット切り替え部又は該波長パス切り替え部のうち少なくとも一方を用いて、該パケットを該宛先アドレスに対応した該光ノードに転送する障害復旧ステップとをそなえて構成されたことを特徴とする、波長パス網用障害復旧方法。

【請求項 13】 該伝送路障害検出ステップが、該波長多重光信号が受信されない光断継続時間が所定時間経過すると該伝送路障害を検出する光断検出ステップとして構成されたことを特徴とする、請求項 12 記載の波長パス網用障害復旧方法。

【請求項 14】 該伝送路障害検出ステップが、所定の時間間隔で送信されている監視用のパケットを受信し該監視用のパケットが受信されないパケット断継続時間が所定時間経過すると該伝送路障害を検出する監視パケット受信ステップとして構成されたことを特徴とする、請求項 13 記載の波長パス網用障害復旧方法。

【請求項 15】 該伝送路障害検出ステップが、該監視パケット受信ステップにて該監視用のパケットに関する該パケット断継続時間の間隔を延長する設定を行なう第 1 延長ステップと、

該波長多重光信号に関する該光断継続時間が所定時間経過してから該伝送路障害を検出する第 1 検出ステップとをそなえて構成されたことを特徴とする、請求項 14 記載の波長パス網用障害復旧方法。

【請求項 16】 該伝送路障害検出ステップが、該光断検出ステップにおける該光断継続時間の間隔を延長する設定を行なう第 2 延長ステップと、

該監視用のパケットに関する該パケット断継続時間が所定時間経過してから該伝送路障害を検出する第 2 検出ステップとをそなえて構成されたことを特徴とする、請求項 14 記載の波長パス網用障害復旧方法。

【請求項 17】 該障害復旧ステップが、該ノード数抽出ステップにて、該宛先ノードの数が単一と判定された場合は、該波長パス処理ステップにて出力される光信号の該波長パスを変更し、該ノード数抽出ステップにて該宛先ノードの数が複数と判定された場合

は、該波長パス処理ステップにて出力される光信号の該波長パスを変更するとともに該デコードされたパケットと該アドパケットとのそれぞれに該宛先アドレスに対応した波長に変更するように構成されたことを特徴とする、請求項 12～請求項 16 のいずれか一項記載の波長パス網用障害復旧方法。

【請求項 18】 該障害復旧ステップが、障害が発生した区間におけるパケットの送受信ノード間で、光信号が該他局光ノード宛に送信されるための復旧パスを割り当てられるように構成されたことを特徴とする、請求項 12～請求項 17 のいずれか一項記載の波長パス網用障害復旧方法。

【請求項 19】 該障害復旧ステップが、障害が発生した区間に隣接するノード間で、光信号が該他局光ノード宛に送信されるための復旧パスを割り当てられるように構成されたことを特徴とする、請求項 12～請求項 17 のいずれか一項記載の波長パス網用障害復旧方法。

【請求項 20】 該障害復旧ステップが、該波長パスが設定されている区間において、同一の波長を割り当てるように構成されていることを特徴とする、請求項 18 又は請求項 19 記載の波長パス網用障害復旧方法。

【請求項 21】 該障害復旧ステップが、該波長パスが設定されている区間において、異なる波長を割り当てるように構成されていることを特徴とする、請求項 18 又は請求項 19 記載の波長パス網用障害復旧方法。

【請求項 22】 複数の相異なる波長を有する光信号を複数の入力ポートから入力され、該複数の相異なる波長を有する光信号を、複数段の光空間スイッチにて切り替えて所定の出力ポートに出力する波長パス切り替え部と、該波長パス切り替え部が有する該複数の入力ポートのうち所定数のポートに接続され、宛先アドレスを有するパケットを保持して該パケットを該所定数のポートに出力するバッファとをそなえ、該波長パス切り替え部の一部の光空間スイッチに代えて、該バッファに出力された該パケットを該宛先アドレス毎に所定波長を割り当てた光信号に変換して出力するパケット切り替え部で構成したことを特徴とする、光ノード。

【請求項 23】 宛先アドレスを有する複数のパケットを該宛先アドレス毎に所定波長の光信号に変換し転送を行なう波長パス網における、波長パス網用障害復旧方法であって、該複数のパケットが変換された光信号の宛先光ノードの数を抽出するノード数抽出ステップと、該ノード数抽出ステップにて該宛先光ノードが複数の場合は複数のパケットを同一波長の光信号に変換するパケ

ット切り替えステップと、

該ノード数抽出ステップにて該宛先光ノードが単一の場合は該パケットを該宛先アドレスに応じた波長の光信号に変換する波長パス切り替えステップとをそなえて構成されたことを特徴とする、波長パス網用障害復旧方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、例えば、IP パケットを波長多重光信号にクロスコネクしてルーティングする技術に用いて好適な、光ノード、送信用の光ノード及び受信用の光ノード並びに波長パス網用障害復旧方法に関する。

【0002】

【従来の技術】近年、インターネットの急速な普及により、IP (internet protocol: インターネットプロトコル) を用いた伝送網でのトラフィック量が加速度的に増加しており、大規模な交換容量を有するトラフィックを効率的に処理するための技術として、波長多重技術 (WDM: Wavelength Division Multiplexing) を用いた IP over WDM システムが導入され始めている。

【0003】この IP over WDM システムとは、波長多重光信号の各光信号に、IP パケットをクロスコネクしてルーティングを行なうシステムである。この IP パケットのクロスコネクとは、複数の光 IP ノード (Photonic IP Node) が接続された光伝送網にて、光信号がどの光 IP ノードからどの光 IP ノードまで伝送されるかという接続に関する情報であって、各光 IP ノードが、伝送された光信号を取り込むかあるいは、スルーさせる (そのまま通過させる) かについての情報である。また、以下の説明において、光 IP ノードとは、光伝送局の意味で使用する。

【0004】具体的には、この光伝送網の 2 基の光 IP ノード間で、IP パケットのルーティングを行なう場合に、まず、1 つの光 IP ノードは、ルーティングすべき IP パケットを、その IP アドレス (宛先アドレス) によって、波長多重光信号の中の特定波長に割り当てて、一旦、光信号に変換する。そして、割り当てられた複数の光信号からなる波長多重光信号は、光伝送路を介して伝送し、他の光 IP ノードにて受信され、ここで、その波長多重光信号の中から、特定の IP パケットのみが抽出されて、ルーティングが行なわれるようになっている。

【0005】この IP over WDM システムを導入することにより、多様な IP アドレスが存在しても、また、IP パケットがバースト的に発生しても、各光 IP ノードが、それぞれ、それらの IP パケットを処理できるようになり、光伝送網は、大規模な交換容量を有するトラフィックに対応できる。さらに、光信号の波長を効率的に利用するために、IP パケットを IP アドレス毎に、あるいは、QoS (Quality of Service: サービス品質) 毎に



同一波長の光信号に收容するような方式が提案されている。この方式とは、各光IPノードが、それぞれ、IPパケットのルーティングを行なう代わりに、IPパケットを收容した光信号の伝送パスを切り替えたり、IPパケットを收容する光信号の波長を切り替えることによりルーティング処理する方式である。なお、ここで、IPパケットの收容とは、IPパケットを光信号に変換することを意味し、以下の説明において、同様の意味で使用する。また、IPパケットの切り替えを単に、IPパケット切り替えと称することがある。加えて、以下の説明において、この伝送パスのことを、波長パス(wavelength path)と称する。

【0006】すなわち、各光IPノードは、それぞれ、光信号のうち終端するもの(自局宛のもの)については、その光信号から所望のIPパケットを抽出する処理を行ない、それ以外の光信号については、光伝送網におけるレイヤ1に相当する波長パス及びレイヤ2に相当するIPパケット切り替えを行なうようになっている。そして、上記の方式は、光アド・ドロップ機能を發揮して、IPパケットのルーティングを行なっている。

【0007】図23は、光アド・ドロップ機能の概念図であり、この図23に示す光IPノード81は、入力ポート1、2と出力ポート3、4とを有する。そして、入力ポート1から、複数の波長の光信号からなる波長多重光信号が入力され、また、入力ポート2から、他局宛(他局の光IPノード宛)のIPパケットが入力されて、このIPパケットは電気/光変換されて、出力ポート3に出力される。ここで、入力ポート1からの波長多重された複数の光信号のうち、自局宛の光信号は、分岐されて、出力ポート4からドロップされる一方、波長多重された複数の光信号のうち、他局宛の光信号は、出力ポート3にスルーされ、入力ポート2からの電気/光変換された光信号と合波されて(アドされて)、他局宛に出力されるようになっている。

【0008】図24は、光IPノードの物理的な構成図である。この図24に示す光IPノード81は、入力伝送路81a、81bと出力伝送路81d、81eと、光クロスコネクタ装置(光XC装置)81cと、ATM交換機81fと、ルータ(アクセスルータ)81g、81h、81iとを有する。ここで、ルータ81g、81h、81iから、それぞれ、IPパケットが入力され、それらのIPアドレスに対応した波長の光信号に振り分けられて、複数の光信号が、図24の左側から、右側に向かって伝送されている。そして、複数の光信号が、それぞれ、入力伝送路81a、81bから入力され、光XC装置81cにおいて、波長多重された光信号のうちの一部が自局宛(自局の光IPノード宛)のものとしてドロップされるとともに、残りの光信号は他局宛のものとして、アドされたIPパケットと多重化され、波長に応じて所望の出力伝送路81d、81eに伝送される。

【0009】ここで、ATM交換機81fは、複数の光IPノードから入力されるIPパケットをそのIPアドレス毎に振り分けるものであって、電気信号であるIPパケットを切り替える電気スイッチでもある。また、このATM交換機81fの光XC装置81c側には、振り分けられたIPパケットを、そのIPアドレスに応じて所定波長の光信号に重畳して出力するためのスイッチ素子が設けられている。そして、これらのATM交換機81fとスイッチ素子とが協同して、パケットスイッチ部(Packet Switch)として機能している。

【0010】また、光XC装置81cは、自局宛の光信号に含まれるIPパケットをATM交換機81fへ転送するとともにATM交換機81fから出力される光信号を他の光IPノードに出力し、さらに、自局宛でない光信号を隣接する他局光ノードに対して転送するものであって、波長パススイッチ部(Wavelength Path Switch)として機能している。また、この光XC装置81cは、複数の空間スイッチ(Space Switch)をそなえて構成されている。

【0011】この空間スイッチとは、複数の入力ポートと複数の出力ポートとを有し、電気的な制御信号によって、入力ポートから入力された光信号を所望の出力ポートから出力させるものである。例えば、16本の入力ポートと32本の出力ポートとを有する空間スイッチにおいて、外部からの電気信号によって、入力された16本の光信号が、32本のいずれかの出力ポートから出力されるようになっている。

【0012】図25は、光IPノードの論理的な構成図であり、図24に示したものを詳細に示している。この図25に示す光IPノード82内の波長パススイッチ部82cにおいて、隣接する他の複数の光IPノード(図示省略)から、入力伝送路83a、83bを介して、それぞれ、波長多重された光信号が入力される。そして、分波部82a、82bにおいて、各光信号は、それぞれ、分波されて、波長 $\lambda_1$ を有する光信号、波長 $\lambda_2$ を有する光信号、…、波長 $\lambda_n$ ( $n$ は整数)を有する光信号が、それぞれ、波長パススイッチ部82cに入力されるようになっている。

【0013】一方、この図25に示すルータ82g、82h、…、82i、82jから、それぞれ、IPパケットが、パケットスイッチ部82fに入力される。このパケットスイッチ部82f内に複数設けられたバッファ84aは、それぞれ、IPパケットを一時的に保持するものであり、また、順番に入力されたIPパケットのうち、最初に入力されたIPパケットが、最初に出力されるようになっている。そして、蓄積されたIPパケットは、逐次、出力されて、それぞれ、パケットスイッチ84bに入力される。なお、このパケットスイッチ84bの出力側には、波長 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ を有する波長多重光信号が、複数あり、これらは、それぞれ、波長パススイッチ



部82cの出力側の出力伝送路82d、82e…の個数に対応している。

【0014】例えば、ルータ82hからのIPパケットは、バッファ84aを介して波長 $\lambda_1$ に割り当てられ、また、ルータ82jからのIPパケットは、バッファ84aを介してやはり、波長 $\lambda_1$ に割り当てられ、これら2箇所のルータ82h、82jから出力されたIPパケットが、波長 $\lambda_1$ の光信号に収容されるようになってい

る。

【0015】そして、波長パススイッチ部82cにおいて、入力伝送路82a、82bからの光信号は、それぞれ、パケットスイッチ部82fからの光信号とクロスコネクタされて、合波部82d、82eにて、他のパスからの光信号と多重化されて、出力伝送路83c、83dから出力される。また、この波長パススイッチ部82cに入力された光信号の中で、自局宛のものは、出力ポート84cからドロップされ、光／電気変換器（O/E変換器）82k、82lにてそれぞれ、電気信号としてのIPパケットに変換されて、このIPパケットが、パケットスイッチ部82fに入力されるようになっている。ここで、自局宛のIPパケットが、再度、パケットスイッチ部82fに入力される理由は、他の光IPノードに中継したり、割り当て波長を変更するからである。

【0016】このため、パケットスイッチ部82fは、自ノードにあるルータ82g、…、82jからのIPパケットと、ドロップされたIPパケットの中で他局宛に再送出するものとをそれぞれ、所定波長に割り当てる。また、波長パススイッチ部82c内の波長パススイッチにおいてはパス切り替えが行なわれて、所定波長にIPパケットが収容されて、出力伝送路83c、83dから出力されるのである。

【0017】図26は、パケットスイッチ部の構成図である。この図26に示すパケットスイッチ部85は、多量のIPパケットを処理して光信号に割り当てるものであって、3段のスイッチ部85a、85b、85cを有する。そして、IPパケットがIPアドレス毎に切り替えられて、伝送波長に応じて振り分けられて出力されるようになっている。例えば、切り替え部85aにおいて、この図26の左側から入力されるn系統（nは整数）のIPパケットは、それぞれ、バッファB<sub>11</sub>～B<sub>1n</sub>に蓄積されて、これらのバッファB<sub>11</sub>～B<sub>1n</sub>から出力されるIPパケットは、m個（mは整数）のパケットスイッチSW<sub>1</sub>～SW<sub>m</sub>に入力され、これらのパケットスイッチSW<sub>1</sub>～SW<sub>m</sub>からIPパケットが、それぞれ、振り分けられて出力されるようになっている。さらに、スイッチ部85b、85cにおいて、それぞれ、同様な切り替えが行なわれて、スイッチ部85cから伝送される波長毎に振り分けられたIPパケットが出力されるのである。

【0018】なお、処理されたIPパケットは、所定波長の光信号にて、他の光IPノードに伝送されるので、

光信号の波長は、IPパケットのルーティングパスを示す機能を有する。従って、光IPノードは、IPパケットをルーティングする場合において、電気信号としてのパスを用いる代わりに、波長パスを設定してIPパケットをルーティングしている。

【0019】従って、IP over WDMシステムを用いた光伝送網は、光IPノードが、波長パスを相互に設定している。以下の説明において、この光伝送網のことを特に、波長パス網と称することとする。次に、この波長パス網に関して、正常時のルーティングと障害復旧時(reset or link failure)のルーティングとを図27と図28とを用いて説明する。

【0020】図27は、波長パス網における正常時のIPパケット転送の説明図である。この図27に示す波長パス網90は、光IPノード1～光IPノード8を有し、これらの光IPノード1～8が、それぞれ、光ファイバで接続されて、波長多重された光信号が双方向に伝送できるようになっている。そして、この波長パス網90は、波長多重光信号の各光信号がどこからどこまで伝送するかに関する波長パス情報を、制御チャネルを用いて伝送し、各光IPノード1～8が、それぞれ、波長パス情報を知ることができるようになっている。

【0021】なお、この図27における波長 $\lambda_1$ 及び波長 $\lambda_2$ を用いてIPパケットを振り分ける際に、利用率が0.5で運用されている。この利用率(Availability)とは、ある時間において、それらの波長を用いて収容したIPパケット数の、その波長を用いて収容できる最大のIPパケット収容数に対する比である。例えば、利用率が0.5とは、伝送速度が10Gbpsであれば、5Gbpsの伝送能力があることを意味する。また、光IPノード当たりの利用率が高い／低いことは、対地当たりの利用率が高い／低いと表現される。

【0022】さらに、例えば光IPノード7は、ルータ（IPと表示されたもの）7a、パケットスイッチ部（パケットSWと表示されたもの）7b、波長パススイッチ部（波長パスSWと表示されたもの）7cを有し、これらは、上述したものと同様な機能を有する。なお、光IPノード7以外の光IPノード1～6、8も、それぞれ、同様なものである。

【0023】上述の構成により、IPパケットの正常なルーティングは、次のようになる。例えば、光IPノード5から光IPノード1へ、IPパケットAをルーティングする場合と、光IPノード2から光IPノード8へ、IPパケットBのルーティングとは、それぞれ、次のようにして行なわれる。まず、光IPノード5のルータ5aにあるIPパケットAは、波長 $\lambda_1$ の光信号に割り当てられて（符号L1を付したパス）、波長多重光信号として伝送路に出力される。そして、このIPパケットAのデータを有する波長多重光信号は、光IPノード4にて受信され、この光IPノード4の波長パススイ

チ部にて、波長ルーティングされ、隣接する光 I P ノード 3 にスルーされる。同様に、光 I P ノード 3 においても、スルーされて、波長多重光信号は、光 I P ノード 2 を介し、光ファイバを伝送して、光 I P ノード 1 に受信され、ここで、波長多重光信号から自局宛の I P パケット A のデータが抽出される。

【0024】また、同様に、光 I P ノード 2 のルータにある I P パケット B は、波長  $\lambda 2$  の光信号に割り当てられて（符号 L 2 を付したパス）、波長多重光信号として伝送路に出力され、この波長多重光信号は、光 I P ノード 1 を介して、光 I P ノード 8 に受信され、その波長多重光信号から自局宛の I P パケット B のデータが抽出されるのである。

【0025】これに対して、波長パス網 90 で、伝送路障害 (link failure) が発生したときは、図 28 のような障害復旧が行なわれる。図 28 は、波長パス網における障害復旧時の I P パケット転送の説明図であり、この図 28 に示す光 I P ノード 1 と光 I P ノード 2 との間の伝送路で障害が発生した後の、波長パス設定について、表示されている。また、各光 I P ノード 1 ~ 8 は、それぞれ、図 27 に示したものと同様なものであり、さらに、この波長パス網 90 は、障害が発生した場合に、その場所を検出でき、各光 I P ノード 1 ~ 8 は、それぞれ、障害発生箇所を制御チャネルによって、知ることができるようになっている。

【0026】そして、上述の構成により、光 I P ノード 5 は、I P パケット A を光 I P ノード 4 側に伝送する波長多重光信号の代わりに、光 I P ノード 6 側に伝送する波長多重光信号に重畳する。そして、この I P パケット A のデータを有する波長多重光信号は、光 I P ノード 6、7 及び 8 を介して、光 I P ノード 1 に受信される（符号 L 3 を付したパス）。同様に、光 I P ノード 2 は、I P パケット B を光 I P ノード 1 側に出力しないで、光 I P ノード 3 側に出力し、I P パケット B のデータは、光 I P ノード 4、5、6、7 及び 8 を介して、伝送されて、光 I P ノード 1 に受信されるのである（符号 L 4 を付したパス）。

【0027】このように、障害が発生した場合でも、各光 I P ノード 1 ~ 8 がそれぞれ、波長多重光信号を出力する伝送路の方向を変更することによって、I P パケットは、正常に転送されるのである。

【0028】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、図 24 ~ 図 26 で説明したように、光 I P ノード 1 ~ 8 を設置する場合には、大規模な電気スイッチ、スイッチ素子及び大規模な光クロスコネクタ装置をそれぞれ設置しなければならない。さらに、図 26 に示すパケットスイッチ部 85 は、各段のスイッチ部 85 a、85 b、85 c がそれぞれ、バッファとパケットスイッチとを有する多段スイッチ回路網構成となっているので、このパケットス

イッチ部 85 の大容量化を図る場合には、各バッファにより、装置のハードウェア規模が大きくなり、また、その装置に関して複雑な制御が必要となるという課題がある。

【0029】その上、I P パケットに割り当てられる波長は、利用率に関係なく対地（光 I P ノード）毎に割り当てられており、波長パススイッチ部で障害の復旧が行なわれているため、障害が復旧した時において、波長パス網 90 は、利用率に関わらず、I P パケットの振り分けの変更を、波長パスの変更のみで行なっていたため、波長パス網 90 が必要とする波長数が多くなり、そのため、やはり、装置のハードウェア規模が大きくなるという課題がある。

【0030】加えて、伝送路障害が発生した時に、全ての光信号の波長パスを変更すると、波長パス網 90 において、割り当てに必要な波長の選択の余地が狭められるので、システムの柔軟な運用が困難となる課題がある。本発明は、このような課題に鑑み創案されたもので、交換すべき I P パケットの容量が大規模な光伝送網において、各光 I P ノードが、それぞれ、光信号の利用率が低い時に、I P パケットが重畳された伝送光信号の波長パス切り替えを行なうとともに、送出 I P パケットの光信号への割り当て切り替えを行ない、伝送に使用される光波長数の削減を図れるようにし、かつ、光 I P ノードの規模を小型化できるようにする、光ノード、送信用の光ノード及び受信用の光ノード並びに波長パス網用障害復旧方法を提供することを目的とする。

【0031】

【課題を解決するための手段】このため、本発明の光ノードは、第 1 の宛先アドレスを有するパケットを第 1 の宛先アドレスに基づき他局光ノードに転送するパケット切り替え部と、パケット切り替え部に接続され第 2 の宛先アドレスを有するパケットを複数の波長の光信号が多重化された波長多重光信号の波長パスに接続することにより転送する波長パス切り替え部とをそなえて構成された光ノードであって、2つの入力ポートと2つの出力ポートとを有し、宛先アドレス毎に割り当てられた複数の波長の光信号からなる波長多重光信号と他局アドレスを有するアドパケットとを、上記2つの入力ポートからそれぞれ入力されて、波長多重光信号の中から自局宛の光信号を第 1 の出力ポートからドロップ用の光信号として出力するとともに、波長多重光信号が含む他局宛の光信号と他局アドレスを有するアドパケットに起因する光信号とを多重化して第 2 の出力ポートから出力する空間スイッチ部と、電気信号として出力された複数のアドパケットを保持し空間スイッチ部に入力するバッファとをそなえ、波長パス切り替え部が、上記空間スイッチ部の一部分であって波長多重光信号の各光信号を波長毎に分岐する空間スイッチを設け、自局宛の光信号を抽出してドロップ用の光信号を第 1 の出力ポートから出力し、波長

多重光信号が含む他局宛の光信号と他局アドレスを有するアドパケットに起因する光信号とを多重化して第2の出力ポートから出力するように構成され、パケット切り替え部が、上記空間スイッチ部の残りの部分であって波長多重光信号の各光信号を波長毎に分岐する空間スイッチと上記バッファとを設け、波長パス切り替え部から出力されたドロップ用の光信号に起因するパケットとバッファからの複数のアドパケットとを入力され、第1の出力ポートから出力された光信号に起因するパケットと複数のアドパケットとをそれぞれ宛先アドレス毎に所定波長を割り当てた光信号として波長パス切り替え部に入力するように構成されたことを特徴としている（請求項1）。

【0032】また、本発明の光ノードは、宛先アドレス毎に割り当てられた複数の波長の光信号からなる波長多重光信号と他局アドレスを有するアドパケットとをそれぞれ入力されて、波長多重光信号の中から自局宛の光信号を出力するとともに波長多重光信号が含む他局宛の光信号と他局アドレスを有するアドパケットに起因する光信号とを多重化して出力する空間スイッチ部と、空間スイッチ部の入力側と出力側とに接続され、電気信号として出力された複数のアドパケットを保持し空間スイッチ部に入力するバッファと、空間スイッチ部の入力側と出力側とに接続され、波長多重光信号に基づいて、伝送路障害の発生を検出し検出信号を出力しうる伝送路障害検出部と、この伝送路障害検出部に接続され、伝送路障害検出部からの検出信号を受信すると、波長多重光信号の各光信号を波長毎に選択し波長パスを切り替えて光信号を出力する障害復旧制御部とをそなえ、空間スイッチ部に設けられた複数の空間スイッチが、自局宛の光信号を抽出してドロップ用の光信号として第1の出力ポートに出力し、波長多重光信号が含む他局宛の光信号と他局アドレスを有するアドパケットに起因する光信号とを多重化して第2の出力ポートから出力する波長パス切り替え部として構成されるとともに、空間スイッチ部に設けられた複数の空間スイッチと上記バッファとが、波長パス切り替え部の第1の出力ポートから出力されたドロップ用の光信号に起因するパケットとバッファからの複数のアドパケットとを入力され、第1の出力ポートから出力されたドロップ用の光信号に起因するパケットと複数のアドパケットとをそれぞれ宛先アドレス毎に所定波長を割り当てた光信号として波長パス切り替え部に入力するパケット切り替え部として構成されたことを特徴としている（請求項2）。

【0033】さらに、本発明の光ノードは、複数の波長の光信号からなる波長多重光信号を受信する第1入力ポートと、他局アドレスを有するアドパケットを受信する第2入力ポートと、波長多重光信号の中から自局宛の光信号をドロップ用の光信号として出力する第1出力ポートと、波長多重光信号が含む他局宛の光信号と他局アド

レスを有するアドパケットに起因する光信号とを多重化して出力する第2出力ポートとを有する空間スイッチ部をそなえた光ノードであって、第1出力ポートから出力されたドロップ用の光信号に起因するパケットと第2入力ポートから入力されたアドパケットとを入力され、ドロップ用の光信号に起因するパケットとアドパケットとをそれぞれ宛先アドレス毎に所定波長を割り当てた光信号として出力するパケット切り替え部と、第1入力ポートから入力された波長多重光信号から自局宛の光信号を分岐して第1出力ポートからドロップ用の光信号として出力し、他局宛の光信号とパケット切り替え部からの光信号とを多重化して第2出力ポートから出力する波長パス切り替え部と、空間スイッチ部の入力側と出力側とに接続され、波長多重光信号に基づいて、伝送路障害の発生を検出し検出信号を出力しうる伝送路障害検出部と、この伝送路障害検出部に接続され、伝送路障害検出部からの検出信号を受信すると、波長多重光信号の各光信号を波長毎に選択し波長パスを切り替えて光信号を出力する障害復旧制御部とをそなえて構成されたことを特徴としている（請求項3）。

【0034】また、空間スイッチ部は、アドパケットとドロップ用の光信号に起因するパケットとを入力される入力ポートと、宛先アドレスに応じて所定波長に割り当てられた光信号を出力する出力ポートとを有するパケットスイッチを $m$ 個（ $m$ は整数）そなえた第1パケットスイッチと、波長多重光信号に含まれる複数の相異なる波長の一つを有する光信号を入力される $n$ 入力ポート（ $n$ は整数）と、その複数の相異なる波長の一つと同一の波長を有する光信号を出力する $2n$ 出力ポートとを有する $n \times 2n$ スイッチを $k-m$ 個（ $k$ は整数）そなえた第1空間スイッチと、第1パケットスイッチからの光信号と第1空間スイッチからの光信号とを入力される $k$ 入力ポートと、 $k$ 入力ポートから入力された光信号を所定の方路に選択して出力する $k$ 出力ポートとを有する $k \times k$ スイッチを $2n$ 個そなえた第2空間スイッチと、第2空間スイッチからの光信号を入力される $2n$ 入力ポートと、 $2n$ 入力ポートから入力された光信号を波長毎に選択して出力する $n$ 出力ポートとを有する $2n \times n$ スイッチを $k-m$ 個そなえた第3空間スイッチと、第2空間スイッチからの光信号を入力される $2n$ 入力ポートと、 $2n$ 入力ポートから入力された光信号を波長毎に選択して出力する $n$ 出力ポートとを有する $2n \times n$ スイッチを $m$ 個そなえた第4空間スイッチとをそなえて構成されてもよい（請求項4）。

【0035】そして、空間スイッチ部は、アドパケットとドロップ用の光信号に起因するパケットとを入力される $k$ 入力ポート（ $k$ は整数）と、宛先アドレスに応じて所定波長に割り当てられた光信号を出力する $2k$ 出力ポートとを有するパケットスイッチを $m$ 個（ $m$ は整数）そなえた第2パケットスイッチと、波長多重光信号を入力

される  $k$  入力ポートと、同一の波長を有する光信号を分岐出力する  $2k$  入力ポートとを有する  $k \times 2k$  スイッチを  $n-m$  個 ( $n$  は整数) そなえた第 5 空間スイッチと、第 2 パケットスイッチのパケットスイッチのそれぞれから出力された  $m$  本の光信号と第 5 空間スイッチの  $k \times 2k$  スイッチのそれぞれから出力された  $n-m$  本の光信号とを合波してその合波により波長多重された光信号を  $n$  本に分岐出力する光カプラを  $2k$  個そなえた光分岐部と、光分岐部から出力されたその合波による波長多重光信号を入力される  $2k$  入力ポートと、 $2k$  入力ポートから入力されたその合波による波長多重光信号を波長多重された状態で出力する  $k$  出力ポートとを有する  $2k \times k$  スイッチを  $n-m$  個そなえた第 6 空間スイッチと、光分岐部から出力されたその合波による波長多重光信号を入力される  $2k$  入力ポートと、 $2k$  入力ポートから入力されたその合波による波長多重光信号を波長多重された状態で出力する  $k$  出力ポートとを有する  $2k \times k$  スイッチを  $m$  個そなえた第 7 空間スイッチと、第 6 空間スイッチからの光信号と第 7 空間スイッチからの光信号とを入力されこれらの光信号に含まれる特定波長の光信号を選択して出力する光フィルタを  $n \times k$  個そなえた波長選択部とをそなえて構成されてもよい (請求項 5)。

【0036】さらに、上記の伝送路障害検出部は、空間スイッチ部の入力側に接続され、波長多重光信号が受信されないと第 1 切替トリガを出力する光断検出部と、空間スイッチ部の出力側に接続され、所定の時間間隔で送信されている電気信号としてのパケットを受信しパケットが受信されないと第 2 切替トリガを出力する監視パケット受信部とをそなえて構成されてもよい (請求項 6)、上記の障害復旧制御部が、光断検出部及び監視パケット受信部とに接続され、光断検出部からの第 1 切替トリガ若しくは監視パケット受信部からの第 2 切替トリガが入力されてから所定時間を経過すると伝送路障害を検出して、空間スイッチ部の光信号を選択してその方路の切り替え制御を行なうパス切り替え制御部と、監視パケット受信部に接続され、監視パケット受信部からの第 2 切替トリガが入力されてから所定時間を経過すると伝送路の障害を検出して、バッファに保持された複数のアドパケットを読み出す順番を変更し、空間スイッチ部の光信号を選択してその方路の切り替え制御を行なうバッファ読み出し／パケットスイッチ切り替え制御部とをそなえて構成されてもよい (請求項 7)。

【0037】また、本発明の送信用の光ノードは、第 1 の宛先アドレスを有するパケットを第 1 の宛先アドレスに基づき他局光ノードに転送するパケット切り替え部と、パケット切り替え部に接続され第 2 の宛先アドレスを有するパケットを複数の波長の光信号が多重化された波長多重光信号の波長パスに接続することにより転送する波長パス切り替え部とをそなえて構成された光ノードであって、2つの入力ポートと2つの出力ポートとを有

し、宛先アドレス毎に割り当てられた複数の波長の光信号からなる波長多重光信号と他局アドレスを有するアドパケットとを、上記2つの入力ポートからそれぞれ入力されて、波長多重光信号の中から自局宛の光信号を第1の出力ポートからドロップ用の光信号として出力するとともに、波長多重光信号が含む他局宛の光信号と他局アドレスを有するアドパケットに起因する光信号とを多重化して第2の出力ポートから出力する空間スイッチ部と、電気信号として出力された複数のアドパケットを保持し空間スイッチ部に入力するバッファと、電気信号としてのパケットを所定の時間間隔で出力する監視パケット送信部とをそなえ、波長パス切り替え部が、上記空間スイッチ部の一部分であって波長多重光信号の各光信号を波長毎に分岐する空間スイッチを設け、自局宛の光信号を抽出してドロップ用の光信号を第1の出力ポートから出力し、波長多重光信号が含む他局宛の光信号と他局アドレスを有するアドパケットに起因する光信号とを多重化して第2の出力ポートから出力するように構成され、パケット切り替え部が、上記空間スイッチ部の残りの部分であって波長多重光信号の各光信号を波長毎に分岐する空間スイッチと上記バッファとを設け、波長パス切り替え部から出力されたドロップ用の光信号に起因するパケットとバッファからの複数のアドパケットとを入力され、第1の出力ポートから出力された光信号に起因するパケットと複数のアドパケットとをそれぞれ宛先アドレス毎に所定波長を割り当てた光信号として波長パス切り替え部に入力するように構成されたことを特徴としている (請求項 8)。

【0038】さらに、本発明の受信用の光ノードは、第1の宛先アドレスを有するパケットを第1の宛先アドレスに基づき他局光ノードに転送するパケット切り替え部と、パケット切り替え部に接続され第2の宛先アドレスを有するパケットを複数の波長の光信号が多重化された波長多重光信号の波長パスに接続することにより転送する波長パス切り替え部とをそなえて構成された光ノードであって、2つの入力ポートと2つの出力ポートとを有し、宛先アドレス毎に割り当てられた複数の波長の光信号からなる波長多重光信号と他局アドレスを有するアドパケットとを、上記2つの入力ポートからそれぞれ入力されて、波長多重光信号の中から自局宛の光信号を第1の出力ポートからドロップ用の光信号として出力するとともに、波長多重光信号が含む他局宛の光信号と他局アドレスを有するアドパケットに起因する光信号とを多重化して第2の出力ポートから出力する空間スイッチ部と、電気信号として出力された複数のアドパケットを保持し空間スイッチ部に入力するバッファと、空間スイッチ部の出力側に接続され、所定の時間間隔で送信されている電気信号としてのパケットを受信しパケットが受信されない時間が所定時間以上であると伝送路の障害を検出し第2切替トリガを出力する監視パケット受信部と、

監視パケット受信部に接続され、監視パケット受信部からの第2切替トリガが入力されてから所定時間を経過すると伝送路の障害を検出して、バッファに保持された複数のアドパケットを読み出す順番を変更し、空間スイッチ部の光信号を選択してその方路の切り替え制御を行なうバッファ読み出し／パケットスイッチ切り替え制御部と、監視パケット受信部に接続され、監視パケット受信部からの第2切替トリガが入力されてから所定時間を経過すると伝送路障害を検出して、空間スイッチ部の光信号を選択してその方路の切り替え制御を行なうパス切り替え制御部とをそなえ、波長パス切り替え部が、上記空間スイッチ部の一部分であって波長多重光信号の各光信号を波長毎に分岐する空間スイッチを設け、自局宛の光信号を抽出してドロップ用の光信号を第1の出力ポートから出力し、波長多重光信号が含む他局宛の光信号と他局アドレスを有するアドパケットに起因する光信号とを多重化して第2の出力ポートから出力するように構成され、パケット切り替え部が、上記空間スイッチ部の残りの部分であって波長多重光信号の各光信号を波長毎に分岐する空間スイッチと上記バッファとを設け、波長パス切り替え部から出力されたドロップ用の光信号に起因するパケットとバッファからの複数のアドパケットとを入力され、第1の出力ポートから出力された光信号に起因するパケットと複数のアドパケットとをそれぞれ宛先アドレス毎に所定波長を割り当てた光信号として波長パス切り替え部に入力するように構成されたことを特徴としている（請求項9）。

【0039】加えて、本発明の受信用の光ノードは、第1の宛先アドレスを有するパケットを第1の宛先アドレスに基づき他局光ノードに転送するパケット切り替え部と、パケット切り替え部に接続され第2の宛先アドレスを有するパケットを複数の波長の光信号が多重化された波長多重光信号の波長パスに接続することにより転送する波長パス切り替え部とをそなえて構成された光ノードであって、2つの入力ポートと2つの出力ポートとを有し、宛先アドレス毎に割り当てられた複数の波長の光信号からなる波長多重光信号と他局アドレスを有するアドパケットとを、上記2つの入力ポートからそれぞれ入力されて、波長多重光信号の中から自局宛の光信号を第1の出力ポートからドロップ用の光信号として出力するとともに、波長多重光信号が含む他局宛の光信号と他局アドレスを有するアドパケットに起因する光信号とを多重化して第2の出力ポートから出力する空間スイッチ部と、電気信号として出力された複数のアドパケットを保持し空間スイッチ部に入力するバッファと、空間スイッチ部の入力側に接続され、波長多重光信号が受信されないと第1切替トリガを出力する光断検出部と、空間スイッチ部の出力側に接続され、所定の時間間隔で送信されている電気信号としてのパケットを受信しパケットが受信されないと第2切替トリガを出力する監視パケット受

信部と、光断検出部及び監視パケット受信部とに接続され、光断検出部からの第1切替トリガ若しくは監視パケット受信部からの第2切替トリガが入力されてから所定時間を経過すると伝送路障害を検出して、空間スイッチ部の光信号を選択してその方路の切り替え制御を行なうパス切り替え制御部と、監視パケット受信部に接続され、監視パケット受信部からの第2切替トリガが入力されてから所定時間を経過すると伝送路の障害を検出して、バッファに保持された複数のアドパケットを読み出す順番を変更し、空間スイッチ部の光信号を選択してその方路の切り替え制御を行なうバッファ読み出し／パケットスイッチ切り替え制御部とをそなえ、波長パス切り替え部が、上記空間スイッチ部の一部分であって波長多重光信号の各光信号を波長毎に分岐する空間スイッチを設け、自局宛の光信号を抽出してドロップ用の光信号を第1の出力ポートから出力し、波長多重光信号が含む他局宛の光信号と他局アドレスを有するアドパケットに起因する光信号とを多重化して第2の出力ポートから出力するように構成され、パケット切り替え部が、上記空間スイッチ部の残りの部分であって波長多重光信号の各光信号を波長毎に分岐する空間スイッチと上記バッファとを設け、波長パス切り替え部から出力されたドロップ用の光信号に起因するパケットとバッファからの複数のアドパケットとを入力され、第1の出力ポートから出力された光信号に起因するパケットと複数のアドパケットとをそれぞれ宛先アドレス毎に所定波長を割り当てた光信号として波長パス切り替え部に入力するように構成されたことを特徴としている（請求項10）。

【0040】また、バッファ読み出し／パケットスイッチ切り替え制御部が、所定時間の間隔を可変に示うように構成されるとともに、パス切り替え制御部が、所定時間の間隔を可変に示うように構成されてもよい（請求項11）。加えて、本発明の光ノードは、複数の相異なる波長を有する光信号を複数の入力ポートから入力され、複数の相異なる波長を有する光信号を、複数段の光空間スイッチにて切り替えて所定の出力ポートに出力する波長パス切り替え部と、波長パス切り替え部が有する複数の入力ポートのうち所定数のポートに接続され、宛先アドレスを有するパケットを保持してそのパケットを所定数のポートに入力するバッファとをそなえ、波長パス切り替え部の一部の光空間スイッチに代えて、このバッファに入力されたパケットを宛先アドレス毎に所定波長を割り当てた光信号に変換して出力するパケット切り替え部で構成したことを特徴としている（請求項22）。

【0041】そして、本発明の波長パス網用障害復旧方法は、第1の宛先アドレスを有するパケットを第1の宛先アドレスに基づき他局光ノードに転送するパケット切り替え部と、パケット切り替え部に接続され第2の宛先アドレスを有するパケットを複数の波長の光信号が多重

化された波長多重光信号の波長パスに接続することにより転送する波長パス切り替え部とをそなえてなる光ノードが相互に接続された波長パス網における、波長パス網用障害復旧方法であって、第1の宛先アドレス毎に割り当てられた複数の波長の光信号からなる波長多重光信号を受信し波長多重光信号から自局宛の光信号と他局宛の光信号とをそれぞれ出力する入力パケット処理ステップと、入力パケット処理ステップにて出力された光信号からパケットをデコードして、デコードされたパケットと電気信号として出力された複数のアドパケットとをそれぞれ宛先アドレス毎に所定波長を有する光信号に割り当てて出力する出力パケット処理ステップと、出力パケット処理ステップにて割り当てられた光信号の宛先光ノードの数を抽出するノード数抽出ステップと、波長パスを確保すべく、入力パケット処理ステップにて出力された光信号と出力パケット処理ステップにて出力された光信号とに所定波長を割り当てて光信号を出力する波長パス処理ステップと、波長多重光信号に基づいて、伝送路障害の発生を検出し検出信号を出力する伝送路障害検出ステップと、ノード数抽出ステップの宛先ノードの数に基づいて、パケット切り替え部又は波長パス切り替え部のうち少なくとも一方を用いて、パケットを宛先アドレスに対応した光ノードに転送する障害復旧ステップとをそなえて構成されたことを特徴としている（請求項12）。

【0042】また、伝送路障害検出ステップは、波長多重光信号が受信されない光断継続時間が所定時間経過すると伝送路障害を検出する光断検出ステップとして構成されてもよく（請求項13）、所定の時間間隔で送信されている監視用のパケットを受信し監視用のパケットが受信されないパケット断継続時間が所定時間経過すると伝送路障害を検出する監視パケット受信ステップとして構成されてもよく（請求項14）、さらに、監視パケット受信ステップにて監視用のパケットに関するパケット断継続時間の間隔を延長する設定を行なう第1延長ステップと、波長多重光信号に関する光断継続時間が所定時間経過してから伝送路障害を検出する第1検出ステップとをそなえて構成されてもよく（請求項15）、加えて、光断検出ステップにおける光断継続時間の間隔を延長する設定を行なう第2延長ステップと、監視用のパケットに関するパケット断継続時間が所定時間経過してから伝送路障害を検出する第2検出ステップとをそなえて構成されてもよい（請求項16）。

【0043】さらに、障害復旧ステップは、ノード数抽出ステップにて、宛先ノードの数が単一と判定された場合は、波長パス処理ステップにて出力される光信号の波長パスを変更し、ノード数抽出ステップにて宛先ノードの数が複数と判定された場合は、波長パス処理ステップにて出力される光信号の波長パスを変更するとともにデコードされたパケットとアドパケットとのそれぞれに宛

先アドレスに対応した波長に変更するように構成されてもよく（請求項17）、障害が発生した区間におけるパケットの送受信ノード間で、光信号が他局光ノード宛に送信されるための復旧パスを割り当てられるように構成されてもよく（請求項18）、障害が発生した区間に隣接するノード間で、光信号が他局光ノード宛に送信されるための復旧パスを割り当てられるように構成されてもよい（請求項19）。

【0044】加えて、障害復旧ステップが、波長パスが設定されている区間において、同一の波長を割り当てるように構成されてもよく（請求項20）、波長パスが設定されている区間において、異なる波長を割り当てるように構成されてもよい（請求項21）。さらに、本発明の波長パス網用障害復旧方法は、宛先アドレスを有する複数のパケットをその宛先アドレス毎に所定波長の光信号に変換し転送を行なう波長パス網における、波長パス網用障害復旧方法であって、複数のパケットが変換された光信号の宛先光ノードの数を抽出するノード数抽出ステップと、ノード数抽出ステップにて宛先光ノードが複数の場合は複数のパケットを同一波長の光信号に変換するパケット切り替えステップと、ノード数抽出ステップにて宛先光ノードが単一の場合はパケットを宛先アドレスに応じた波長の光信号に変換する波長パス切り替えステップとをそなえて構成されたことを特徴としている（請求項23）。

#### 【0045】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照して本発明の実施の形態を説明する。（A）本発明の第1実施形態の説明本発明の第1実施形態に係る光IPノード1も、IPパケットを収容した光信号の波長パスを切り替えたり、IPパケットを収容する光信号の波長を切り替えることにより、IPパケットのルーティングを行なう機能を有する。図1は、本発明の第1実施形態に係る光IPノードの構成図である。この図1に示す光IPノード1は、パケットスイッチ部（パケット切り替え部）11と、波長パススイッチ部（波長パス切り替え部）10とをそなえて構成されている。

【0046】このパケットスイッチ部11は、IPアドレス（第1の宛先アドレス）を有するIPパケットをIPアドレスに基づき他局光IPノードに転送するものであり、また、波長パススイッチ部10は、IPアドレス（第2の宛先アドレス）を有するIPパケットを複数の波長の光信号が多重化された波長多重光信号の波長パスに接続することにより転送するものである。

【0047】そして、光IPノード1は、パケットスイッチ部11及び波長パススイッチ部10を構成すべく、空間スイッチ部40と、複数のバッファ11aとをそなえるほか、入力伝送路12a、12bと、分波部21a、21bと、合波部21c、21dと、出力伝送路12c、12dと、伝送路障害検出部13と、OAMパケ



ット送信部 14 と、ルータ群 15 と、障害復旧制御部 16 とをそなえて構成されている。

【0048】また、この図 1 に示す光 I P ノード 22 a, 22 b は、それぞれ、波長  $\lambda_1$  を有する光信号、波長  $\lambda_2$  を有する光信号、…、波長  $\lambda_n$  ( $n$  は整数) を有する光信号を波長多重して送信するものである。ここで、入力伝送路 12 a, 12 b は、それぞれ、他の光 I P ノード 22 a, 22 b から送信された波長多重光信号 (波長  $\lambda_1 \sim$  波長  $\lambda_n$ ) を伝送するものであって、例えば光ファイバによってその機能が発揮される。また、分波部 21 a, 21 b は、それぞれ、入力伝送路 12 a, 12 b を介して受信した波長多重光信号を分波するものであって、例えば光分波器によりその機能が発揮される。そして、波長多重光信号が波長  $\lambda_1 \sim$  波長  $\lambda_n$  毎に、分岐されて出力されるようになっている。

【0049】これにより、他の光 I P ノード 22 a から送信された波長多重光信号は、入力伝送路 12 a を介して、分波部 21 a に入力され、そして、分波部 21 a において、この波長多重光信号は、分波されて、波長  $\lambda_1$  を有する光信号、波長  $\lambda_2$  を有する光信号、…、波長  $\lambda_n$  を有する光信号に分岐され、これらの分岐された光信号が、それぞれ、空間スイッチ部 40 に入力されるようになっている。また、他の光 I P ノード 22 b から送信される波長多重光信号についても、同様であり、それに関しては更なる説明を省略する。

【0050】次に、空間スイッチ部 40 は、第 1 入力ポート P1, 第 2 入力ポート P2 と第 1 出力ポート P3, 第 2 出力ポート P4 とを有し、I P アドレス毎に割り当てられた複数の波長の光信号からなる波長多重光信号と、他局アドレスを有するアドパケットとを、上記 2 つの入力ポートからそれぞれ入力されて、波長多重光信号の中から光 I P ノード 1 (自局光 I P ノード) 宛の光信号を第 1 出力ポート P3 からドロップ用の光信号として出力するとともに、波長多重光信号が含む他局宛の光信号と他局アドレスを有するアドパケットに起因する光信号とを多重化して第 2 出力ポート P4 から出力するものである。

【0051】そして、この空間スイッチ部 40 は、後述するように、単位スイッチを組み合わせた空間スイッチが数段接続されて構成されており、空間スイッチ部 40 とバッファ 11 a とによって、波長パススイッチ部 10 と、パケットスイッチ部 11 とが構成されるようになっている。なお、以下の説明において、アドパケットとは、アド用の I P パケットを意味する。また、アドパケットに起因する光信号とは、アドパケットのデータが重畳された所定波長の光信号を意味し、さらに、以下の説明において、アドパケットに起因する光信号のことを、アドパケットを含む光信号と称することがある。

【0052】続いて、合波部 21 c, 21 d は、それぞれ、空間スイッチ部 40 から出力される波長  $\lambda_1 \sim$  波長

$\lambda_n$  を有する光信号を合波して、波長多重光信号を出力するものであって、例えば光合波器によって、その機能は発揮される。さらに、出力伝送路 12 c, 12 d は、それぞれ、合波部 21 c, 21 d から出力された波長多重光信号 (波長  $\lambda_1 \sim$  波長  $\lambda_n$  を含む) を伝送するものであって、例えば光ファイバによって、その機能が発揮される。

【0053】これにより、空間スイッチ部 40 からの複数の波長を有する光信号は、それぞれ、合波部 21 c において合波され、そして、この合波された波長多重光信号は、出力伝送路 12 c を伝送し、他の光 I P ノード (図示省略) に送信されるのである。なお、合波部 21 d も、同様なものであるので、更なる説明を省略する。また、この光 I P ノード 1 の入力側は、多数の光ファイバが設けられ、他の多数の光 I P ノードと接続されており、加えて、この光 I P ノード 1 の出力側にも、多数の光ファイバが設けられて、多数の光 I P ノード間と接続され、各光 I P ノード間で双方向に波長多重光信号が伝送可能となっているが、説明を簡略化するために、この図 1 では、左側の光 I P ノード 22 a, 22 b から光信号が送出されて、右側の出力伝送路 12 c, 12 d に光信号が送出されるものとする。さらに、光 I P ノード 1 の構成については、後述する第 2 実施形態、第 3 実施形態及び各変形例においても、特に断らない限り、同様なものとする。

【0054】続いて、複数のバッファ 11 a は、それぞれ、電気信号として出力された複数のアドパケットを保持し空間スイッチ部 40 に入力するものである。これらのバッファ 11 a は、それぞれ、順番に入力された I P パケットのうち、最初に入力された I P パケットに順番を付して保持し、最初に保持された I P パケットが最初に出力されるようになっている。このバッファ 11 a を設けることにより、大量の I P パケットが同時時間帯に集中して入力された場合でも、それらの I P パケットは、順番に処理されるので、大規模な交換容量を有するトラフィックであっても、処理が滞りなく行なえるようになる。

【0055】そして、波長パススイッチ部 10 は、空間スイッチ部 40 の一部分であって波長多重光信号の各光信号を波長毎に分岐する空間スイッチを設け、自局宛の光信号を抽出してドロップ用の光信号を第 1 出力ポート P3 から出力し、波長多重光信号が含む他局宛の光信号と他局アドレスを有するアドパケットを含む光信号とを多重化して第 2 出力ポート P4 から出力するものである。

【0056】また、パケットスイッチ部 11 は、空間スイッチ部 40 の残りの部分であって波長多重光信号の各光信号を波長毎に分岐する空間スイッチとバッファ 11 a とを設け、波長パススイッチ部 10 から出力されたドロップ用の光信号をデコードした I P パケットとバッファ



ア 11 a からの複数のアドパケットとを入力され、第 1 出力ポート P 3 から出力された光信号をデコードした I P パケットと複数のアドパケットとをそれぞれ I P アドレス毎に所定波長を割り当てた光信号として波長バススイッチ部 10 に入力するものである。

【0057】なお、以下の説明において、光信号に起因する I P パケットを、光信号をデコードした I P パケットと称することがある。さらに、ルータ群 15 は、自局に設けられた複数のルータ 15 a からなり、これらのルータ 15 a は、それぞれ、I P パケットをルーティングするものである。具体的には、これらのルータ 15 a は、I P パケットの I P アドレスを読み取って、その I P アドレスに応じて最適な電氣的なパスを検索して、その最適なパスに宛てて、I P パケットを送出するものである。なお、それ以外のルーティング機能については、公知のものであるので、詳細な説明を省略する。

【0058】そして、OAM パケット送信部（監視パケット送信部）14 は、電気信号としての I P パケットを所定の時間間隔で出力するものであって、光 I P ノード 1 を送信用の光 I P ノードとみた場合における送信機能に関する。この OAM (Operation, Administration and Maintenance) とは、波長バス網の低次のレイヤにおける、保守及び運用を行なうための機能である。すなわち、光 I P ノード 1 以外の他の光 I P ノードに対して、一定の時間間隔で OAM パケットを送出し、他の光 I P ノードが、この OAM パケットを一定時間間隔で受信すれば、正常にルーティングが行なわれていることを意味し、また、他の光 I P ノードがこの OAM パケットを受信しなければ、波長バス網になんらかの障害が発生したことを検出できるようになっている。さらに、この OAM パケットは、波長バス網に関する運用情報をも有する。

【0059】さらに、前述した光 I P ノード 22 a, 22 b も、それぞれ、空間スイッチ部と、OAM パケット送信部とを有する（図示省略）。従って、光 I P ノード 22 a, 22 b（送信用の光ノード）は、それぞれ、宛先アドレス毎に割り当てられた複数の波長の光信号からなる波長多重光信号と他局アドレスを有するアドパケットとをそれぞれ入力されて、波長多重光信号の中から自局宛の光信号を出力するとともに波長多重光信号を含む他局宛の光信号と他局アドレスを有するアドパケットに起因する光信号とを多重化して出力する空間スイッチ部と、電気信号としてのパケットを所定の時間間隔で出力する監視パケット送信部とをそなえて構成されたことになる。

【0060】さらに、伝送路障害検出部 13 は、空間スイッチ部 40 の入力側と出力側とに接続され、上記の波長多重光信号に基づいて、伝送路障害の発生を検出し検出信号を出力しうるのである。光断検出部 13 a と、OAM パケット受信部（監視パケット受信部）13

b とをそなえて構成されている。ここで、光断検出部 13 a は、空間スイッチ部 40 の入力側に接続され、波長多重光信号が受信されないと第 1 切替トリガ（第 1 切り替えトリガ）を出力するものである。

【0061】また、OAM パケット受信部 13 b は、空間スイッチ部 40 の第 2 出力ポート P 4 に接続され、所定の時間間隔で送信されている電気信号としての I P パケットを受信し I P パケットが受信されないと第 2 切替トリガ（第 2 切り替えトリガ）を出力するものである。これにより、他の光 I P ノード 22 a, 22 b（図 1 参照）の OAM パケット送信部 14 が、出力伝送路 12 c, 12 d に、OAM パケットを一定時間間隔で送信し、そして、この送信された波長多重光信号が、空間スイッチ部 40 にて抽出されて I P パケットが出力され、光 I P ノード 1 における OAM パケット受信部 13 b が一定時間間隔でこの OAM パケットを受信することによって、波長バス網での障害発生が検出されるのである。

【0062】なお、以下の説明において、障害発生によって光信号（又は I P パケット）の伝送が遮断された状態を検出することを、光信号（又は I P パケット）の断を検出すると表現したり、光信号（又は I P パケット）の断を認識する等と表現することがある。さらに、障害復旧制御部 16 は、伝送路障害検出部 13 に接続され、伝送路障害検出部 13 からの検出信号を受信すると、波長多重光信号の各光信号を波長毎に選択し波長バスを切り替えて光信号を出力するものであって、バッファ読み出し/パケットスイッチ切り替え制御部 16 a と、バス切り替え制御部 16 b とをそなえて構成されている。

【0063】ここで、バッファ読み出し/パケットスイッチ切り替え制御部 16 a は、OAM パケット受信部 13 b に接続され、OAM パケット受信部 13 b からの第 2 切替トリガが入力されてから所定時間を経過すると伝送路の障害を検出して、バッファ 11 a に保持された複数のアドパケットを読み出す順番を変更し、空間スイッチ部 40 の光信号を選択してその方路の切り替え制御を行なうものである。すなわち、OAM パケットの受信が途絶えてから、一定の時間が経過した後に、光信号の選択切り替えが行なわれる。

【0064】また、このバッファ読み出し/パケットスイッチ切り替え制御部 16 a は、所定時間の間隔を可変にしている。そして、例えば、受信した光パワー値が、0 値になるか、あるいは、ある閾値以下になる時間が所定時間以上である場合は、第 1 切替トリガを出力する。さらに、バス切り替え制御部 16 b は、光断検出部 13 a 及び OAM パケット受信部 13 b に接続され、光断検出部 13 a からの第 1 切替トリガ若しくは OAM パケット受信部 13 b からの第 2 切替トリガが入力されてから所定時間を経過すると伝送路障害を検出して、空間スイッチ部 40 の光信号を選択してその方路の切り替え制御を行なうものである。また、このバス切

り替え制御部 16b は、所定時間の間隔を可変にしようになっている。すなわち、光断検出部 13a から出力される第 1 切替トリガの時間間隔を延長した値に設定することにより、光信号に関して断検出されないようにし、OAM パケット受信部 13b による障害復旧が行なわれるようになっている。

【0065】なお、これらの伝送路障害検出部 13、光断検出部 13a、OAM パケット受信部 13b、障害復旧制御部 16 は、それぞれ、光 IP ノード 1 を受信用の光 IP ノードとみた場合における受信機能に関する。従って、光 IP ノード 1（受信用の光ノード）は、空間スイッチ部 40 と、バッファ 11a と、光断検出部 13a と、OAM パケット受信部 13b と、パス切り替え制御部 16b と、バッファ読み出し／パケットスイッチ切り替え制御部 16a とをそなえて構成されたことになる。また、このバッファ読み出し／パケットスイッチ切り替え制御部 16a は、所定時間の間隔を可変にしようように構成されるとともに、パス切り替え制御部 16b が、所定時間の間隔を可変にしようように構成されたことになる。

【0066】図 2 は、本発明の第 1 実施形態に係る空間スイッチ部 40 の構成図である。この図 2 に示す空間スイッチ部 40 は、複数の波長の光信号からなる波長多重光信号を受信する第 1 入力ポート P1 と、他局アドレスを有するアドパケットを受信する第 2 入力ポート P2 と、波長多重光信号の中から自局宛の光信号をドロップ用の光信号として出力する第 1 出力ポート P3 と、波長多重光信号が含む他局宛の光信号と他局アドレスを有するアドパケットを含む光信号とを多重化して出力する第 2 出力ポート P4 とを有する。また、この空間スイッチ部 40 は、第 1 パケットスイッチ 24 と、第 1 空間スイッチ 17 と、第 2 空間スイッチ 18 と、第 3 空間スイッチ 19 と、第 4 空間スイッチ 20 とをそなえて構成されている。

【0067】そして、空間スイッチ部 40 は、空間スイッチが 3 段接続されたスイッチ回路網を用いて複数の波長を有する光信号をクロスコネクトするようになっている。また、この図 2 に示す光 IP ノード 1 に関する値は、例えば、次のようになる。まず、送出する IP パケットの容量を表す入力トラフィック量は、640 Gbps であり、局間の入出力伝送路は 6 本であり、波長多重数は 32 波である。この光 IP ノードは、伝送速度が 10 Gbps の 2.56 Tbps である。

【0068】なお、bps (bit per Second) は、伝送速度を表し、b/s と表記することもある。また、G (Giga) は、10 の 9 乗を意味し、T (Tera) は、10 の 12 乗を意味する。ここで、第 1 パケットスイッチ 24 は、4 個のパケットスイッチ 24a, …, 24b をそなえて構成されている。これらの 4 個のパケットスイッチ 24a, …, 24b は、それぞれ、アドパケット及び

ドロップ用の光信号をデコードした IP パケットを入力される入力ポートと、IP パケットに応じて所定波長に割り当てられた光信号を出力する出力ポートとを有する。また、これらのパケットスイッチ 24a, …, 24b は、それぞれ、最大で 160 Gbps の入力トラフィック量を処理できるものが使用され、合計で 640 Gbps の入力トラフィック量を処理できる。そして、この第 1 パケットスイッチ 24 と、複数のバッファ 11a とにより、パケットスイッチ部 11 が構成されている。

【0069】また、これら 4 個のパケットスイッチ 24a, …, 24b は、それぞれ、電気信号を入力されて、光信号を出力するものであり、バッファ読み出し／パケットスイッチ切り替え制御部 16a によって制御されている。そして、この制御により、送出 IP パケットが、所定波長の光信号に割り当てられ、割り当てられた光信号が、それぞれ、波長バススイッチ部 10 にクロスコネクトされるようになっている。

【0070】また、第 1 空間スイッチ 17 は、32 個の 16×32 スwitch (16×32 SW と表記されている) 17a, …, 17b をそなえて構成されており、これら 16×32 スwitch 17a, …, 17b は、それぞれ、波長多重光信号に含まれる複数の相異なる波長の一つを有する光信号を入力される入力ポートと、その複数の相異なる波長の一つと同一の波長を有する光信号を出力する出力ポートとを有する。

【0071】これらの、16×32 スwitch 17a, …, 17b は、それぞれ、図 6 (a) に示すようになる。図 6 (a) は、空間スイッチの模式図であり、この図 6 (a) に示す空間スイッチは、上記の 16×32 スwitch 17a, …, 17b 等に用いられるものであって、16 個の単位スイッチ 92 と、4 入力ポートと、4 出力ポートとをそなえて構成されている。そして、信号は、4 入力ポートのいずれかから、入力され、単位スイッチ 92 にて、2 方向のうちのいずれか一方に、切り替えられて、4 出力ポートのいずれかに、出力されるようになっている。

【0072】また、図 6 (b) は、電圧が印加されていないときの単位スイッチ 92 の模式図であり、信号パスがクロスしている（クロス状態）。すなわち、左上から入力される信号は、右下から出力されるとともに、左下から入力される信号は、右上から出力されるようになっている。さらに、図 6 (c) は、電圧が印加されたときの単位スイッチ 92 の模式図であり、信号パスが平行になっている（バー状態）。そして、左上から入力される信号は、右上から出力されるとともに、左下から入力される信号は、右下から出力されるようになっている。

【0073】従って、各単位スイッチ 92 に電圧をオン又はオフすることによって、入力ポートから出力される複数の光信号のそれぞれについて、所望の出力ポートから出力させることが可能となる。なお、この図 6 (a)

は、 $4 \times 4$  スイッチを示しているが、以下の説明の例えば  $16 \times 8$  スイッチ等も同様に、この単位スイッチ 92 を組み合わせたものである。また、後述する第 2 実施形態、第 3 実施形態及び各変形例においても、同様に、この単位スイッチ 92 を組み合わせた構成となっている。

【0074】さらに、第 2 空間スイッチ 18 (図 2 参照) は、32 個の  $16 \times 16$  スイッチ ( $16 \times 16$  SW と表記されている) 18a, 18b, ..., 18c, 18d をそなえて構成されており、これらの  $16 \times 16$  スイッチ 18a, 18b, ..., 18c, 18d は、それぞれ、第 1 パケットスイッチ 24 からの光信号と第 1 空間スイッチ 17 からの光信号とを入力される 16 入力ポートと、この 16 入力ポートから入力された光信号を所定の方路に選択して出力する 16 出力ポートとを有する。

【0075】そして、第 3 空間スイッチ 19 は、12 個の  $32 \times 16$  スイッチ 19a, ..., 19b をそなえて構成されており、これらの  $32 \times 16$  スイッチ 19a, ..., 19b は、それぞれ、第 2 空間スイッチ 18 からの光信号を入力される 32 入力ポートと、32 入力ポートから入力された光信号を波長毎に選択して出力する 16 出力ポートとを有する。

【0076】加えて、第 4 空間スイッチ 20 は、4 個の  $32 \times 16$  スイッチ 20a, ..., 20b をそなえて構成されており、これらの  $32 \times 16$  スイッチ 20a, ..., 20b は、それぞれ、第 2 空間スイッチ 18 からの光信号を入力される 32 入力ポートと、32 入力ポートから入力された光信号を波長毎に選択して出力する 16 出力ポートとを有する。

【0077】また、この第 4 空間スイッチ 20 は、波長多重光信号のうち割り当てられた光信号の波長を変更すべく、光信号を電気信号に変換し、電気信号として複数の IP パケットを抽出する機能を有する。従って、波長多重光信号の各光信号を波長毎に分岐する空間スイッチ (第 1 空間スイッチ 17, 第 2 空間スイッチ 18, 第 3 空間スイッチ 19, 第 4 空間スイッチ 20) が、自局宛の光信号を抽出してドロップ用の光信号として第 1 の出力ポートに出力し、波長多重光信号が含む他局宛の光信号と他局アドレスを有するアドパケットを含む光信号とを多重化して第 2 の出力ポートから出力する波長バス切り替え部 (波長バススイッチ部 10) として構成されるようになっている。

【0078】また、空間スイッチ部 40 の残りの部分であって波長多重光信号の各光信号を波長毎に分岐する第 1 パケットスイッチ 24 とバッファ 11a とが、波長バススイッチ部 10 の第 1 出力ポート P3 から出力されたドロップ用の光信号をデコードした IP パケットとバッファ 11a からの複数のアドパケットとを入力され、第 1 出力ポート P3 から出力されたドロップ用の光信号をデコードした IP パケットと複数のアドパケットとをそれぞれ IP アドレス毎に所定波長を割り当てた光信号と

して波長バススイッチ部 10 に入力するパケット切り替え部 (パケットスイッチ部 11) として構成されたことになる。

【0079】また、この波長バススイッチ部 1 は、複数の相異なる波長 ( $\lambda_1 \sim \lambda_n$ ) を有する光信号を 12 個の  $16 \times 32$  スイッチ 17a ~ 17b の各入力ポートと 4 個のパケットスイッチ 24a, ..., 24b の各入力ポートとから入力され、複数の相異なる波長 ( $\lambda_1 \sim \lambda_n$ ) を有する光信号を、3 段の光空間スイッチにて切り替えて第 1 出力ポート P3 及び第 2 出力ポート P4 にそれぞれ出力するようになっている。さらに、バッファ 11a は、それぞれ、波長バススイッチ部 10 が有する上記の複数の各入力ポートのうち 4 個のパケットスイッチ 24a, ..., 24b の各入力ポートに接続され、IP パケットを保持してその IP パケットを 4 個のパケットスイッチ 24a, ..., 24b の各入力ポートに入力している。

【0080】そして、パケットスイッチ部 11 が、波長バススイッチ部 10 の一部の光空間スイッチに代えて、このバッファ 11a に入力された IP パケットを IP アドレス毎に所定波長を割り当てた光信号に変換して出力するようになっている。これにより、図 2 に示す第 1 入力ポート P1 から入力される光信号の流れは、次のようになる。まず、伝送路からの波長多重光信号は分波部 21a を介して、空間スイッチ部 40 にある第 1 空間スイッチ 17 の  $16 \times 32$  スイッチ 17a に入力され、そして、この  $16 \times 32$  スイッチ 17a に入力された光信号のうち、自局 (光 IP ノード 1) 宛のものと、他局 (図示省略) 宛のものが、光信号の波長によって、選択される。すなわち、自局宛の光信号は、第 4 空間スイッチ 20 に接続されて、第 1 出力ポート P3 からドロップされ、また、他局宛の光信号は、第 3 空間スイッチ 19 に接続されて、第 2 出力ポート P4 から、他局宛に再度送出される。

【0081】同様に、空間スイッチ部 40 にある第 1 空間スイッチ 17 の  $16 \times 32$  スイッチ 17b に入力された光信号のうち、自局宛のものと、他局宛のものが、光信号の波長によって、選択され、自局宛の光信号は、第 4 空間スイッチ 20 に接続されて、第 1 出力ポート P3 からドロップされ、また、他局宛の光信号は、第 3 空間スイッチ 19 に接続されて、第 2 出力ポート P4 から、他局宛に再度送出される。

【0082】また、第 3 空間スイッチ 19 の  $32 \times 16$  スイッチ 19a は、第 2 空間スイッチ 18 の  $16 \times 16$  スイッチ 18a, 18b, ..., 18c, 18d のそれぞれからの光信号を入力され、これらの入力された光信号を多重化し第 2 出力ポート P4 より出力して、そして、合波部 21c にて各光信号が合波されるのである。これに対して、第 4 空間スイッチ 20 の  $32 \times 16$  スイッチ 20a は、第 2 空間スイッチ 18 の  $16 \times 16$  スイッチ 18a, 18b, ..., 18c, 18d のそれぞれからの

光信号を入力され、これらの入力された光信号を多重化し第1出力ポートP3からドロップする。そして、このドロップされた光信号は、光／電気変換器（図示省略）にてそれぞれ、電気信号としてのIPパケットに変換されて、これらのIPパケットが、出力されるのである。

【0083】従って、図2に示す第1空間スイッチ17の16×32スイッチ17a等の空間スイッチは、それぞれ、パス切り替え制御部16bによって、制御されている。また、後述するように、バッファ読み出し／パケットスイッチ切り替え制御部16a及びパス切り替え制御部16bによって、他の光IPノード22a、22bあるいは伝送路にて障害が発生したときに、割り当てる光信号の波長を変更して、IPパケットの正常なルーティングが行なえる。

【0084】このように、パケットスイッチ24a、…、24bの出力は、光信号であって、波長パスとなっており、また、パケットスイッチ24a、…、24bの出力ポートからの光信号が波長パススイッチ部10の入力ポートに接続され、波長パススイッチ部10とパケットスイッチ24a、…、24bの空間スイッチとが統合されているので、光IPノード1の装置規模を縮小することができる。

【0085】さらに、空間スイッチ部40（図1参照）から出力された電気信号としてのIPパケットは、それぞれ、再度、第2入力ポートP2から、パケットスイッチ部11のバッファ11aに入力されるようになっていいる。この理由は、本光IPノード1が、ルーティングされたIPパケットの宛先ノードとなるもののほか、他の光IPノードに転送したり、また、後述するように、障害が発生したときに、伝送路を変更すべく、伝送に使用する光信号の波長を変更することがあるからである。

【0086】次に、図2に示す第2入力ポートP2から入力される光信号の流れは、次のようになる。まず、複数のルータ15a（図1参照）から、IPパケットがそれぞれ、第2入力ポートP2から、パケットスイッチ部11に入力され、パケットスイッチ部11のバッファ11aにおいて、多数のIPパケットが一時的に保持される。そして、このバッファ11aから出力されたIPパケットは、それぞれ、パケットスイッチ24a、…、24bに入力される、このパケットスイッチ24a、…、24bからは、それぞれ、光信号が出力される。

【0087】なお、具体的なIPアドレスに対応する波長の割り当ての仕方については、設計方針により変更できるので、その説明を省略する。また、この空間スイッチ部40は、後述する第1実施形態の第2変形例、第3変形例において、別のものを用いて構成することもできる。従って、光IPノード1の空間スイッチ部40において、第1入力ポートP1から、波長多重光信号が入力されて、この波長多重光信号に含まれる複数の光信号がクロスコネクされるとともに、第2入力ポートP2か

ら、IPパケットが入力されて、これらのIPパケットのIPアドレス毎に割り当てられた波長を有する光信号に変換されてから、クロスコネクされている。

【0088】換言すれば、クロスコネクは、光信号の波長を直接切り替える方法と、IPアドレスによって、変換する光信号の波長の値を変更する方法との2種類があり、前者は、IPアドレスを有するIPパケットを複数の波長の光信号が多重化された波長パスに接続するものであり、後者は、電気領域にてパスを切り替えるものである。

【0089】また、パケットスイッチ部11において、ルータ15a（図1参照）からの複数のIPパケットと、第1出力ポートP3からドロップされたIPパケットとが、それぞれ、入力され、これらのIPパケットが、所定波長に割り当てられる。そして、また、各波長パススイッチ部10にてパスの切り替えが行なわれることにより、IPパケットのデータは、所定波長を有する光信号に変更されて、合波部21c、21dにて、それぞれ、合波されてから、出力伝送路12c、12dから、他の光IPノードに宛てて出力されるのである。

【0090】このように、多段スイッチ回路網（図2参照）において、多段スイッチ回路網の1段目の空間スイッチに必要な容量だけ、バッファ11aを設けることによって、波長パススイッチ部10と、パケットスイッチ部11の空間スイッチ部（各パケットスイッチ24a、…、24b）とが統合されるので、パケット切り替えを行なう部分（パケットスイッチ24a、…、24b）が、多段とはならず、光IPノード1の装置規模を小型化できる。

【0091】また、このように、バッファ11aを追加することにより、パケットスイッチ部11を増設できるので、入力されるトラフィック量の変動に応じた光IPノード1の運用が可能となり、そして、必要な波長数の増加に対しての拡張性が向上する。次に、図3から図5を用いて、障害復旧の制御方法について説明する。障害復旧とは、何らかの事故により伝送路が切断され、伝送障害が発生したときに、波長多重光信号が正確に目的地に伝送されるための処置を行なうことを意味する。そして、各光IPノードは、それぞれ、障害が発生した場所を検出するとともに、その障害が発生した場所を回避して、波長多重光信号を別のパスで伝送するように、波長多重光信号の波長パスを切り替えるようになっている。まず、図3を用いて、構成を説明し、図4を用いて、波長パス切り替えによる障害復旧を説明し、さらに、図5を用いて、IPパケットの切り替えによる障害復旧を説明する。

【0092】図3は、本発明の第1実施形態に係る障害復旧制御部16の構成図である。この図3に示す障害復旧制御部16は、バッファ読み出し／パケットスイッチ切り替え制御部16aと、パス切り替え制御部16bと

を有し、その出力側に、空間スイッチ部 40 が接続されている。そして、この空間スイッチ部 40 において、宛先アドレス毎に割り当てられた複数の波長の光信号からなる波長多重光信号と他局アドレスを有するアドパケットとがそれぞれ入力されて、波長多重光信号の中から自局宛の光信号を出力するとともに波長多重光信号が含む他局宛の光信号と他局アドレスを有するアドパケットに起因する光信号とが多重化されて出力される。

【0093】また、パケットスイッチ部 11 において、第 1 出力ポート P3 から出力されたドロップ用の光信号をデコードした IP パケットと第 2 入力ポート P2 から入力されたアドパケットとが入力され、ドロップ用の光信号をデコードした IP パケットとアドパケットとがそれぞれ IP アドレス毎に所定波長を割り当てた光信号として出力される。

【0094】さらに、波長パススイッチ部 10 において、第 1 入力ポート P1 から入力された波長多重光信号から自局宛の光信号が分岐されて第 1 出力ポート P3 からドロップ用の光信号として出力され、他局宛の光信号とパケットスイッチ部 11 からの光信号とが多重化されて第 2 出力ポート P4 から出力される。また、伝送路障害検出部 13 において、波長多重光信号に基づいて、伝送路障害の発生が検出されて検出信号が出力される。そして、障害復旧制御部 16 において、伝送路障害検出部 13 からの検出信号が受信されると、波長多重光信号の各光信号が波長毎に選択され波長パスが切り替えられて光信号が出力される。

【0095】上述したように、光 IP ノード 1 は、OAM パケット送信部 14 が、OAM パケットを一定時間間隔で送信するとともに、他の光 IP ノード（図示省略）における OAM パケット受信部 13 b が一定時間間隔で OAM パケットを受信することによって、OAM パケットの断が検出されるようになっている。まず、OAM パケットの送信については、次のようになる。すなわち、この図 3 に示す OAM パケット送信部 14 は、一定時間間隔で OAM パケットを、パケットスイッチ部 11 の入力側に加えて送信し、この OAM パケットが、他の光 IP ノードにて受信される。

【0096】一方、OAM パケットの受信については、次のようになる。すなわち、この図 3 の右上方（専用光パス又は共有光パス）から入力される波長多重光信号は、波長パススイッチ部 10 に入力され、この波長パススイッチ部 10 の出力が、パケットスイッチ部 11 に入力される。ここで、波長パススイッチ部 10 の入力側から、光信号が取り出されて、この取り出された光信号が、光断検出部 13 a に入力され、また、光断検出部 13 a により、伝送路に何らかの異常が発生した場合においては、受信される光信号のレベルが減少あるいは受信できなくなるので、光信号の断が検出されるのである。そして、光信号の断が検出された場合は、光断検出部 1

3 a は、第 1 切替信号をパス切り替え制御部 16 b に入力する。また、このパス切り替え制御部 16 b は、制御信号を波長パススイッチ部 10 に入力する。

【0097】同様にして、波長パススイッチ部 10 の出力側から、電気信号が取り出されて、この取り出された複数の光信号が、それぞれ、OAM パケット受信部 13 b に入力され続ける。そして、OAM パケット受信部 13 b が、一定時間間隔で OAM パケットを受信できなくなると、OAM パケット受信部 13 b は、OAM パケットの断を検出し、第 2 切替信号をパス切り替え制御部 16 b とバッファ読み出し／パケットスイッチ切り替え制御部 16 a とに入力し、また、このバッファ読み出し／パケットスイッチ切り替え制御部 16 a は、制御信号をパケットスイッチ部 11 に入力するのである。

【0098】すなわち、各光 IP ノード 1～9 が相互に接続された波長パス網における、波長パス網用障害復旧方法は、次のようになる。まず、各光 IP ノード 1～9 は、それぞれ、IP アドレス毎に割り当てられた複数の波長の光信号からなる波長多重光信号を受信し波長多重光信号から自局宛の光信号と他局宛の光信号とをそれぞれ出力する（入力パケット処理ステップ）。

【0099】そして、各光 IP ノード 1～9 は、それぞれ、入力パケット処理ステップにて出力された光信号から IP パケットをデコードして、デコードされた IP パケットと電気信号として出力された複数のアドパケットとをそれぞれ IP アドレス毎に所定波長を有する光信号に割り当てて出力し（出力パケット処理ステップ）、波長パスを確保すべく、入力パケット処理ステップにて出力された光信号と出力 IP パケット処理ステップにて出力された光信号とに所定波長を割り当てて光信号を出力するのである（波長パス処理ステップ）。さらに、上記の波長多重光信号に基づいて、伝送路障害の発生が検出されて検出信号が出力される（伝送路障害検出ステップ）。なお、この検出方法については、図 4 及び図 5 を用いて後述する。

【0100】このように、正常時には、各パスに OAM パケット送信部 14 から OAM パケットが一定時間間隔で送信され、光断検出部 13 a、OAM パケット受信部 13 b で光信号及び OAM パケットが監視され、また、異常時には、波長パススイッチ部 10 のみを用いた制御と、波長パススイッチ部 10 及びパケットスイッチ 24 a、…、24 b の両方を用いた制御とのいずれか片方を選択することによって、障害復旧が実現される。これにより、精度の高い制御が可能となる。

【0101】図 4 は、本発明の第 1 実施形態に係る波長パス切り替えによる障害復旧の動作説明図であって、波長パススイッチ部 10 のみを切り替えることにより、障害復旧を行なう場合の動作の一例が示されている。この図 4 に示すもので、図 3 に示すものと同一の符号を有するものは、同一のものなので、更なる説明を省略する。

【0102】また、他の光IPノードのOAMパケット送信部14からOAMパケットの送出時間間隔（送出間隔）が $T1'$ （秒）で送出されている。ここで、受信側のパス切り替え制御部16bにおいて、このOAMパケットが受信されない時間（パケット断継続時間）を $T1$ （秒）とし、また、光断検出部13aにおいて、波長多重光信号が受信されない時間（光断継続時間）を $T2$ （秒）とし、さらに、波長パススイッチ部10による復旧動作のための閾値時間を $T3$ （秒）とする。このとき、 $T2 < T3 < T1$ とすることによって、波長パススイッチ部10のみが動作するようになっている。

【0103】すなわち、OAMパケットの受信間隔 $T1$ が、 $T2$ 及び $T3$ に比較して、非常に大きくなるように設定されることで、パス切り替え制御部16bが光信号の断により、伝送路障害を検出するのである。また、パス切り替え制御部16bは、IPパケットの断を検出しにくくなるので、パス切り替え制御部16bがIPパケットの断による伝送路障害を認識したときには、波長パススイッチ部10において障害復旧が行なわれるようになる。

【0104】従って、上記の伝送路障害検出ステップが、波長多重光信号が受信されない光断継続時間が所定時間経過すると伝送路障害が検出されるようになっている（光断検出ステップ）。換言すれば、上記の伝送路障害検出ステップが、所定の時間間隔で送信されているOAMパケットを受信しこのOAMパケットが受信されないパケット断継続時間が所定時間経過すると伝送路障害を検出するようになっている（監視パケット受信ステップ）。

【0105】また、伝送路障害検出ステップが、監視パケット受信ステップにてOAMパケットに関するパケット断継続時間の間隔を延長する設定を行ない（第1延長ステップ）、波長多重光信号に関する光断継続時間が所定時間経過してから伝送路障害を検出するようになっている（第1検出ステップ）。これにより、パケットスイッチ部11においては、誤動作しないようになる。

【0106】図5は、本発明の第1実施形態に係るIPパケット切り替えによる障害復旧の動作説明図であって、波長パススイッチ部10及びパケットスイッチ部11との両方を用いて障害復旧が行なわれる場合の動作の一例が示されている。なお、この図5に表示したものであって、上述したものと同一の符号を有するものは、同一のもの、あるいは、同様の機能を有するものであるもので、更なる説明を省略する。

【0107】図4と同様、他の光IPノードのOAMパケット送信部14からOAMパケットの送出間隔が $T1'$ （秒）で送出されており、受信側のパス切り替え制御部16bにおいて、パケット断継続時間を $T1$ （秒）とし、また、光断検出部13aにおいて、光断継続時間を $T2$ （秒）とし、さらに、波長パススイッチ部10及

びパケットスイッチ部11による復旧動作のための閾値時間を $T4$ （秒）とする。このとき、 $T1 < T4 < T2$ とすることによって、パケットスイッチ部11のみが動作するようになっている。

【0108】すなわち、光断継続時間 $T2$ が、 $T1$ 及び $T4$ に比較して、非常に大きくなるように設定されることで、波長パススイッチ部10及びパケットスイッチ部11が、IPパケットの断により、伝送路障害を検出するのである。また、光断検出部13aは、光信号の断を検出しにくくなるので、バッファ読み出し/パケットスイッチ切り替え制御部16aが光信号の断による伝送路障害を認識したときには、パケットスイッチ部11において障害復旧が行なわれるようになる。

【0109】従って、伝送路障害検出ステップが、光断検出ステップにおける光断継続時間の間隔を延長する設定を行ない（第2延長ステップ）、OAMパケットに関するパケット断継続時間が所定時間経過してから伝送路障害を検出するようになっている（第2検出ステップ）。そして、これにより、波長パススイッチ部10部が誤動作しないようになる。なお、上記の図3から図5に示したものは、後述する第2実施形態、第3実施形態及び各変形例においても、同様な動作となる。

【0110】従って、光IPノード1は、入力側にバッファ11aを配し、また、処理容量の高いパケットスイッチ24a、…、24bを1段だけ用いて、かつ、2段接続された空間スイッチを用いて、大規模な交換容量を有するトラフィックを処理できる。また、これらのパケットスイッチ24a、…、24bの処理容量を変更することによって、入力されるIPパケットのトラフィック量に応じたルーティングが行なえるので、光IPノード1の効率的な運用が可能となる。

【0111】さらに、IPパケットの切り替えが、多段に接続されたパケットスイッチ回路を用いずに、3段に接続された空間スイッチを用いて行われるので、装置規模が縮小され、ひいては、大規模な交換容量を有するトラフィックであっても、小型の電気スイッチやスイッチ素子を設けることによって、処理できる。次に、正常時のルーティングと障害復旧時のルーティングとを図7から図9とを用いて説明する。

【0112】図7は、本発明の第1実施形態に係る波長パス網における正常時のIPパケット転送の説明図である。この図7に示す波長パス網50は、光IPノード1～光IPノード8を有し、これらの光IPノード1～8が、それぞれ、光ファイバで接続されて、波長多重された光信号が双方向に伝送でき、また、IPパケットがルーティングされるようになっている。

【0113】また、この波長パス網50は、波長多重光信号の各光信号がどこからどこまで伝送するかに関する波長パス情報を、制御チャネルを用いて伝送し、各光IPノード1～8は、それぞれ、波長パス情報を知ること

ができるようになっていいる。そして、この図7において、波長 $\lambda 1$ 及び波長 $\lambda 2$ を用いてIPパケットを振り分ける際の利用率は、波長 $\lambda 1$ については、0.25であり、波長 $\lambda 2$ については、1.0である。

【0114】さらに、光IPノード1～8は、それぞれ、ルータ1a～8aと、ルータ1b～8bと、パケットスイッチ部1c～8cと、パケットスイッチ部1d～8dと、波長パススイッチ部1e～8eとを有する。ここで、ルータ1a～8a及び1b～8bは、それぞれ、ルータ15aと同一の機能を有し、パケットスイッチ部1c～8cにIPパケットを入力している。

【0115】また、パケットスイッチ部1c～8cは、それぞれ、パケットスイッチ部11と同一の機能を有し、例えば波長 $\lambda 2$ を使用している。さらに、パケットスイッチ部1d～8dは、それぞれ、パケットスイッチ部11と同一の機能を有し、例えば波長 $\lambda 1$ を使用している。なお、パケットスイッチ部7cと区別するために、網がけされている。そして、これらのパケットスイッチ部1c～8c内部のパケットスイッチ24a、…、24b(図2参照)は、それぞれ、同一波長が割り当てられないようになっていいる。すなわち、ルータ1a～8aと、ルータ1b～8bとが、それぞれ、別系統の波長パスを使用している。

【0116】加えて、波長パススイッチ部1e～8eは、波長パススイッチ部10と同一の機能を有する。これらのものに関しては、重複するので、更なる説明を省略する。これにより、各光IPノードは、それぞれ、送出するIPパケットを、波長 $\lambda 1$ の光信号に変換して出力するか、又は、波長 $\lambda 2$ の光信号に変換して出力するかを選択できるようになっていいる。なお、この光IPノード7以外の残りの光IPノード1～6、8も、それぞれ、同様なものとなっている。加えて、後述する第1実施形態の各変形例及び第2実施形態及び第2実施形態の各変形例においても、同様である。また、2系統の波長 $\lambda 1$ 、 $\lambda 2$ のうち、波長 $\lambda 1$ には、網がけがされている。

【0117】ここで、IPパケットAは、光IPノード5から光IPノード3へルーティングされ、IPパケットBは、光IPノード5から光IPノード1へルーティングされ、IPパケットCは、光IPノード3から光IPノード1へルーティングされ、IPパケットDは、光IPノード2から光IPノード8へルーティングされる。

【0118】そして、このような構成によって、各光IPノード間1～8において、それぞれ、A、B、C、Dの符号を付したIPパケットの正常なルーティングが行なわれる。まず、IPパケットAは、光IPノード5のルータ5aにより、パケットスイッチ部5cに入力され、波長 $\lambda 1$ の波長パス55bに割り当てられ、また、IPパケットBは、光IPノード5のルータ5bにより、パケットスイッチ部5cに入力され、波長 $\lambda 1$ の同

一の波長パス55bに割り当てられる。そして、これらのIPパケットA、Bは、それぞれ、波長パススイッチ部5eから、波長多重光信号として伝送路に出力され、この波長多重光信号は、光IPノード4にて受信され、この光IPノード4の波長パススイッチ部4eにて、スルーされ、光IPノード3に伝送される。

【0119】ここで、光IPノード3の波長パススイッチ部3eにおいて、IPパケットAのIPアドレスが、自局の光IPノード3宛のものと認識されて、受信した波長多重光信号の中から、光IPノード3宛のものが、抽出されて、ルータ3bにルーティングされる。一方、IPパケットBは、パケットスイッチ部3cにて折り返され、再度、光信号に変換されてから伝送される。ここで、光IPノード3からは、IPパケットCが光IPノード1宛に入力されるので、IPパケットBは、このIPパケットCとともに、伝送路に出力される。

【0120】そして、光IPノード3から出力されたIPパケットB、Cのデータを有する波長多重光信号は、光IPノード2を介して、光IPノード1に受信され、この波長パススイッチ部1eにて、波長多重光信号からIPパケットB、Cのデータが抽出されてから、抽出されたIPパケットB、Cは、それぞれ、ルータ1a、1bにルーティングされる。

【0121】一方、光IPノード2のルータ2aからのIPパケットDは、波長 $\lambda 2$ の光信号に割り当てられて、波長多重光信号として伝送路に出力され、この波長 $\lambda 1$ 、 $\lambda 2$ を有する波長多重光信号は、光IPノード1を介して、光IPノード8にて受信され、その波長多重光信号から、IPパケットDのデータが抽出されて、ルータ8bにルーティングされるのである。

【0122】このように、波長パスレイヤと、パケットレイヤとが連携して障害復旧が行なわれて、IPパケットAとIPパケットBとが、1波長に収容されるので、波長パス網50での必要な波長数が削減される。また、複数の波長パスが、1波長に収容されるので、波長パス網50の利用率が向上し、効率的な運用が可能となる。

【0123】さらに、リング網においては、障害が発生した場所に隣接する光IPノードまで波長多重光信号が伝送されるという、無駄なループバックを発生させないことができる。これに対して、波長パス網50に障害が発生したときは、波長パス切り替えとIPパケットの切り替えとのうちのどちらか片方か、又は、両方が、障害復旧が行なわれる。

【0124】図8は、本発明の第1実施形態に係る波長パス網における障害復旧時のIPパケット転送の説明図であり、この図8に示す光IPノード1と光IPノード2との間の伝送路で、障害が発生した後の、波長パス設定について、表示されている。また、各光IPノード1～8は、それぞれ、図7に示したものと同様なものであり、さらに、この波長パス網50は、障害が発生した場



合に、その場所を検出でき、各光IPノード1～8は、それぞれ、障害発生箇所を制御チャンネルによって、知ることができるになっている。そして、この図8において、IPパケットAは、利用率0.25の波長 $\lambda_1$ を用いてIPパケットが振り分けられ、IPパケットBは、利用率0.25の波長 $\lambda_2$ が割り当てられ、IPパケットCは、利用率0.25の波長 $\lambda_1$ が割り当てられるようになっている。これらの利用率の値は、未だ、IPパケットを収容する余裕があることを示しているの、同一の伝送路に出力されて複数の光IPノード1～8に転送されるIPパケットは、1つの波長に収容されるようにして、波長パスが効率的に使用されるようになっている。なお、IPパケットDは、利用率1.0の波長 $\lambda_2$ が割り当てられるために、この波長 $\lambda_2$ を用いてのIPパケットの割り当ては、行なわれない。

【0125】加えて、出力パケット処理ステップにて割り当てられた光信号の宛先光IPノードの数が抽出され（ノード数抽出ステップ）、光IPノードの宛先が単一か複数かが判定される。ここで、ノード数抽出ステップの宛先ノードの数に基づいて、パケットスイッチ部11又は波長パススイッチ部10のうち少なくとも一方を用いて、パケットがIPアドレスに対応した光IPノードに転送されるのである（障害復旧ステップ）。

【0126】ここで、所望の光IPノードに転送されるIPパケットの伝送速度が、1波長の伝送速度に等しい場合は、その伝送されるIPパケットが収容されると、その収容する光信号の1波長が占有されてしまう。逆に、所望の光IPノードに転送されるIPパケットの伝送速度が、1波長の伝送速度に満たない場合は、複数の光IPノードと波長とを共有することによって、パケットスイッチ1c、1d…、8c、8dを用いて中継されるので、送受信される光IPノード間のパスが設定される。

【0127】そして、このような構成によって、IPパケットA、B、Cに関しては、それぞれ、パケット切り替えと波長パス切り替えとが行なわれ、IPパケットDに関しては、利用率が大きいので、波長パス切り替えが行なわれる。まず、ルータ5aのIPパケットAは、図7と異なる点は、パケットスイッチ部5cにて、復旧用の波長 $\lambda_1$ の波長パス55aに割り当てられて出力される。この出力された波長多重光信号は、光IPノード4を介して、光IPノード3にて受信され、このルータ3bにルーティングされる。

【0128】一方、IPパケットBは、光IPノード5のルータ5bにより、復旧用の波長 $\lambda_1$ の波長パス55bに割り当てられるが、この波長パス55bは、光IPノードとは逆回りの、光IPノード6側に設定された波長パスである。従って、IPパケットA、Bは、それぞれ、IPパケットのレイヤにおいて切り替えられるとともに、波長パスを切り替えられて、伝送されている。す

なわち、光IPノードの数が複数と判定された場合は、波長パス処理ステップにて出力される光信号の波長パスが変更されるとともにデコードされたIPパケットとアドパケットとのそれぞれにIPアドレスに対応した波長に変更されている（障害復旧ステップ）。

【0129】さらに、IPパケットCは、光IPノード3のルータ3aから、光IPノード1宛に伝送されるように、波長 $\lambda_1$ の光信号に収容される。そして、光IPノード4を介して、光IPノード5に入力され、この波長パススイッチ部5eにて、一旦出力される。この際、IPパケットCは、光IPノード5宛ではないので、再度、折り返されて、ルータ5bから出力されるIPパケットBとともに、波長 $\lambda_1$ の光信号に重畳されて、伝送される。このIPパケットB、Cのデータを含む波長多重光信号は、光IPノード6と光IPノード7と光IPノード8とを介して、光IPノード1に入力され、この光IPノード1のルータ1a、1bに、ルーティングされる。

【0130】すなわち、伝送路障害が発生した時に、目的とする光IPノードの宛先が、単一であるか、又は、複数であるかが判定され、光IPノードの数が単一と判定された場合は、波長パス処理ステップにて出力される光信号の波長パスが変更される。さらに、IPパケットDに関しては、光IPノード2において、宛先の数が単一（光IPノード8のみ）と判定されて、波長パス処理ステップにて出力される光信号の波長パスが変更され（障害復旧ステップ）、波長パススイッチ部2eにより、復旧用の波長パスに切り替えられて伝送され、光IPノード3、4、5、6、7を介して、光IPノード8に受信される。そして、この光IPノード8の波長パススイッチ部8eは、IPアドレスによって、受信した波長多重光信号から、光信号を抽出して、ルータ8bにIPパケットDがルーティングされるのである。

【0131】従って、IPアドレスを有する複数のパケットをそのIPアドレス毎に所定波長の光信号に変換し転送を行なう波長パス網50における、波長パス網用障害復旧方法は、次のようになる。すなわち、複数のパケットが変換された光信号の宛先光ノードの数が抽出され（ノード数抽出ステップ）、このノード数抽出ステップにて宛先光ノードが複数の場合は複数のIPパケットが同一波長の光信号に変換され（パケット切り替えステップ）、さらに、ノード数抽出ステップにて宛先光ノードが単一の場合はIPパケットがIPアドレスに応じた波長の光信号に変換されるのである（波長パス切り替えステップ）。

【0132】このように、IPパケットの宛先が、1つの光IPノードのみであるか、又は、複数の光IPノードであるかによって、光IPノードでの制御態様が切り替えられるので、効率的なIPパケットのルーティングが行なえる。また、このように、障害が発生した場合

に、各光IPノード1～8がそれぞれ、パケット切り替えと、波長パス切り替えとを行なうことにより、IPパケットが正常に転送されるので、信頼性が向上する。

【0133】そして、このようにして、波長パス切り替えが行なわれることにより、対地当たりの利用率が低い時には、同一の伝送路に出力される複数のIPアドレスノードに転送されるIPパケットが、1つの波長に収容されるので、必要な波長数の削減が図れるようになる。加えて、複数の波長パスが、1波長に収容されるので、波長パス網50の利用率が向上し、効率的な運用が可能となる。

【0134】また、このようにして、バッファ11aを追加することにより、パケットスイッチ部11を増設できるので、入力されるトラフィック量の変動に応じた光IPノード1の運用が可能となる。そして、このようにして、パケットスイッチ部10の小型化ができ、光伝送網を構築するためのコストの低廉化が図れる。

#### (A1) 第1実施形態の第1変形例の説明

上記の伝送路障害が発生した場合は、目的とする宛先の光IPノードが、単一であるか、又は、複数であるかによって、波長パススイッチ部10のみを切り替えるか、又は、波長パススイッチ部10とパケットスイッチ部24a、…、24bとの両方を切り替えるかによって、復旧が行なわれていた。この切り替えを、パケットスイッチ部11によらないで、障害の影響がある波長パスの区間のみに、波長パス切り替えにより障害復旧を行なうようにもできる。

【0135】図9は、本発明の第1実施形態の第1変形例に係る波長パス網における障害復旧時のIPパケット転送の説明図であって、波長パス切り替えのみによって、障害復旧が行なわれる例を示している。また、この図9に示すものは、図8と比較して、光IPノード3、4、5間における、ルーティングの仕方が異なっている。

【0136】また、各光IPノード1～8は、それぞれ、図7に示したものと同等なものであり、加えて、障害発生箇所を制御チャネルで知ることができるになっている。さらに、この図9において、IPパケットA～Cは、それぞれ、利用率0.25の波長λ1を用いてIPパケットが振り分けられ、IPパケットDは、利用率0.25の波長λ2が割り当てられている。

【0137】さらに、IPパケットAは、光IPノード5から光IPノード3へルーティングされ、IPパケットBは、光IPノード5から光IPノード1へルーティングされ、IPパケットCは、光IPノード3から光IPノード1へルーティングされ、IPパケットDは、光IPノード2から光IPノード8へルーティングされるようになっている。

【0138】そして、このような構成によって、光IPノード1と光IPノード2との間にて、伝送路障害が発

生したときの、障害復旧は、次のようになる。まず、ルータ5aのIPパケットAとIPパケットBとは、それぞれ、パケットスイッチ部5cにて、波長パス55aに割り当てられ、波長パススイッチ部5cから出力される。そして、波長多重光信号は、光IPノード4を介して、光IPノード3にて受信され、IPパケットAは、このルータ3bにルーティングされる。すなわち、IPパケットA及びIPパケットBの両方が、波長パス切り替えにより、出力されている。

【0139】このルータ3bにおいて、受信された2種類のIPパケットA、Bのうち、IPパケットAは抽出され、ルータ3bは、波長λ1に収容されていたIPパケットAに空きが生じたので、このルータ3bは、IPパケットCを、パケットスイッチ部3cに出力し、パケットスイッチ部3cは、IPパケットB、Cのデータを有する波長多重光信号を送出する。

【0140】この光IPノード3から送出された波長多重光信号は、光IPノード4を介して、折り返され、また、光IPノード5を、通過して、さらに、光IPノード6、7、8をそれぞれ介して、光IPノード1に入力される。そして、この光IPノード1の波長パススイッチ部1cにおいて、波長多重光信号からIPアドレスB、Cのデータが抽出されて、ルータ1a、1bにそれぞれ、IPアドレスB、Cの2種類が、ルーティングされるのである。

【0141】一方、IPパケットDに関しては、図8と同様であり、光IPノード2から、IPパケットDのデータを有する波長多重光信号が出力され、光IPノード3、4、5、6、7を介して、光IPノード8に受信される。このように、障害が発生した場合に、各光IPノード1～8がそれぞれ、送出IPパケットに割り当てる波長パス切り替えを行なうので、各光IPノード1～8から送出されるIPパケットが、正常にルーティングされる。さらに、リング網において発生する無駄なループバックを回避できる。

【0142】そして、このように、パケットスイッチ1a、…、8aを介してパスが設定されているものについても、障害が発生した区間に設定されている波長パスのみを切り替えることで、障害復旧される。また、このようにして、波長パス切り替えが行なわれることにより、対地当たりの利用率が低い時には、同一の伝送路に出力される複数のIPアドレスノードに転送されるIPパケットが、1つの波長に収容されるので、波長パス切り替えに加えて、波長数の削減が図れるようになる。加えて、複数の波長パスが、1波長に収容されるので、波長パス網50の利用率が向上し、効率的な運用が可能となる。

【0143】そして、このように、バッファ11aの追加により、パケットスイッチ部11が増設されるので、光IPノード1の小型化が実現されるとともに、入力さ

れるトラフィック量の変動に応じた光IPノード1の運用が可能となる。また、このようにして、波長パス切り替えとIPパケット切り替えとの両方を用いた障害復旧が行なわれるので、波長パス網50で必要となる波長数が削減されて、余裕が生じ、光伝送システムの性能向上に寄与するようになる。

【0144】(A2)本発明の第1実施形態の第2変形例の説明

上記の空間スイッチ部40は、別のものを使用しても可能である。図10は、本発明の第1実施形態の第2変形例に係る空間スイッチ部の構成図である。この図10に示す空間スイッチ部40aは、第1入力ポートP1、第2入力ポートP2と第1出力ポートP3、第2出力ポートP4とを有し、IPアドレス毎に割り当てられた複数の波長の光信号からなる波長多重光信号と他局アドレスを有するアドパケットとを、上記2つの入力ポートからそれぞれ入力されて、波長多重光信号の中から光IPノード1(自局光IPノード)宛の光信号を第1出力ポートP3からドロップ用の光信号として出力するとともに、波長多重光信号を含む他局宛の光信号と他局アドレスを有するアドパケットを含む光信号とを多重化して第2出力ポートP4から出力するものである。

【0145】そして、この空間スイッチ部40aは、波長パススイッチ部32と、パケットスイッチ部11'とをそなえて構成されており、波長パススイッチ部32は、第2パケットスイッチ31と、第5空間スイッチ33と、光分岐部34と、第6空間スイッチ35と、第7空間スイッチ36と、波長選択部37と、複数の光アンプ38aとをそなえて構成されている。

【0146】ここで、第2パケットスイッチ31は、8個のパケットスイッチ31a、…、31bと、複数の光アンプ31cとをそなえて構成されている。そして、これらのパケットスイッチ31a、…、31bは、光信号の波長パス切り替えを行なうものであって、それぞれ、アドパケット及びドロップ用の光信号をデコードしたIPパケットを入力される8入力ポートと、IPアドレスに応じて所定波長に割り当てられた光信号を出力する16出力ポートとを有する。また、例えば、これらのパケットスイッチ31a、…、31bは、それぞれ、最大で80Gbpsの入力トラフィック量を処理できるものが使用され、合計で640Gbpsの入力トラフィック量を処理できるようになっている。

【0147】さらに、光アンプ31cは、これらのパケットスイッチ31a、…、31bから出力された光信号を増幅するものである。また、第5空間スイッチ33は、32個の8×16スイッチ33a、…、33bと、複数の光アンプ33cとをそなえて構成されている。これらの8×16スイッチ33a、…、33bは、それぞれ、波長多重光信号を入力される8入力ポートと、同一の波長を有する光信号を分岐出力する16出力ポートと

を有する。さらに、光アンプ(OA:Optical Amplifier)33cは、これらのパケットスイッチ33a、…、33bから出力された光信号を増幅するものである。

【0148】続いて、光分岐部34は、16個の光カブラ34a、…、34bをそなえて構成されており、これらの光カブラ34a、…、34bは、それぞれ、第2パケットスイッチ31のパケットスイッチ31a、…、31bのそれぞれから出力された8本の光信号と第5空間スイッチ33の8×16スイッチ33a、…、33bのそれぞれから出力された32本の光信号とを、光アンプ33cを介して、合波してその合波により波長多重された光信号を40本に分岐出力するものである。

【0149】そして、第6空間スイッチ35は、32個の16×8スイッチ35a、…、35bをそなえて構成されている。これら16×8スイッチ35a、…、35bは、それぞれ、光分岐部34から出力されたその合波による波長多重光信号を入力される16入力ポートと、16入力ポートから入力されたその合波による波長多重光信号を波長多重された状態で出力する8出力ポートとを有するものである。

【0150】同様に、第7空間スイッチ36は、8個の16×8スイッチ36a、…、36bをそなえて構成されており、これらの16×8スイッチ36a、…、36bは、それぞれ、光分岐部34から出力されたその合波による波長多重光信号を入力される16入力ポートと、16入力ポートから入力されたその合波による波長多重光信号を波長多重された状態で出力する8出力ポートとを有する。

【0151】また、これらの8×16スイッチ33a、…、33b及び16×8スイッチ36a、…、36bは、それぞれ、図6(a)～図6(c)にて説明した単位スイッチ92から構成されており、それについての更なる説明を省略する。加えて、波長選択部37は、256(32×8)個の光フィルタ37a、…、37dをそなえて構成されており、これらの256個の光フィルタ37a、…、37dは、それぞれ、第6空間スイッチ35からの光信号と第7空間スイッチ36からの光信号とを入力されこれらの光信号に含まれる所定波長を有する光信号を選択して出力するものである。また、この光フィルタ37aは、1波長をフィルタリングするようになっている。さらに、複数の光アンプ38aは、それぞれ、光信号を増幅する光アンプである。

【0152】従って、この光IPノード1は、伝送速度が10Gbpsの2.56Tbpsであって、空間スイッチ(第5空間スイッチ33、第6空間スイッチ35、第7空間スイッチ36)と光カブラ34a、…、34bと光フィルタ37aとによる多段スイッチ回路網を構成している。加えて、パケットスイッチ31a、…、31bは、それぞれ、バッファ読み出し/パケットスイッチ切り替え制御部16a(図1参照)で制御され、その他

のスイッチはパス切り替え制御部 16b によって制御されており、きめ細かい制御がなされるようになっている。

【0153】なお、分波部 21a、21b 及び光アンプ 38a は、それぞれ、上述したものと同一のものであるので、更なる説明を省略する。これにより、この図 10 に示す第 1 入力ポート P1 から入力される光信号の流れは、次のようになる。まず、伝送路からの波長多重光信号は分波部 21a を介して、第 5 空間スイッチ 33 の  $8 \times 16$  スイッチ 33a に入力され、そして、この  $8 \times 16$  スイッチ 33a に入力された光信号のうち、自局の光 IP ノード宛のものと、他の光 IP ノード（図示省略）宛のものとが、光信号の波長によって選択される。すなわち、自局宛の光信号は、第 7 空間スイッチ 36 に接続されて、第 1 出力ポート P3 からドロップされ、また、他局宛の光信号は、第 6 空間スイッチ 35 に接続されて、第 2 出力ポート P4 から、他局宛に再度送出される。

【0154】また、第 6 空間スイッチ 35 の  $16 \times 8$  スイッチ 35a から出力された光信号と、第 7 空間スイッチ 36 の  $16 \times 8$  スイッチ 36a から出力された光信号とは、それぞれ、波長選択部 37 の各光フィルタ 37a にて、フィルタリングされ、これらフィルタリングされた光信号は、それぞれ、光アンプ 38a にて増幅されて、出力されるようになっている。

【0155】そして、これらの光アンプ 38a からの出力のうち、光フィルタ 37a、…、37b から出力されたものは、それぞれ、多重化されて第 2 出力ポート P4 より出力されて合波部 21c（図 1 参照）にて各光信号が合波される。これに対して、光フィルタ 37c、…、37d から出力されたものは、それぞれ、多重化されて第 1 出力ポート P3 よりドロップされて、このドロップされた光信号は、光／電気変換器（図示省略）にてそれぞれ、電気信号としての IP パケットに変換される。

【0156】また、第 7 空間スイッチ 36 の  $16 \times 8$  スイッチ 36a から出力された光信号のうちの一部（C へ、D へと付したものは、第 2 パケットスイッチ 31 のパケットスイッチ 31a の入力ポートに入力されるようになっており、同様に、第 7 空間スイッチ 36 の  $16 \times 8$  スイッチ 36b から出力された光信号のうちの一部（A へ、B へと付したものは、第 2 パケットスイッチ 31 のパケットスイッチ 31c の入力ポートに入力されるようになっている。

【0157】このように、パケットスイッチ 31a、…、31b の出力が、光信号となっており、また、波長パススイッチ部 32 とパケットスイッチ 31a、…、31b とが統合されているので、光 IP ノード 1 の装置規模を縮小することができる。さらに、このように、第 1 段目の  $8 \times 16$  スイッチ 33a、…、33b、31a、…、31b のうち、8 個の入力ポートにバッファ 11a

が追加されることによって、空間スイッチが必要な部分に、必要な分だけ、バッファ 11a を追加することができ、容量の変動に応じた光 IP ノード 1 の運用が可能となる。

【0158】そして、このようにして、多段接続回路網で構成した波長パススイッチ部 10 にパケットスイッチ 31a、…、31b が統合されているので、装置の簡略化が実現できる。また、このようにして、対地当たりの利用率が低い時には、複数の IP パケットが、1 波長に収容されるので、波長数の削減が図れるようになり、波長パス網 50 の利用率が向上し、効率的な運用が可能となる。

【0159】（A3）本発明の第 1 実施形態の第 3 変形例の説明

上記の第 1 実施形態における空間スイッチ部 40 の個数について、さらに、一般化させることもできる。図 11 は、本発明の第 1 実施形態の第 3 変形例に係る空間スイッチ部 40b の構成図である。この図 11 に示す空間スイッチ部 40b は、空間スイッチが 3 段に接続されたスイッチ回路網を用いて複数の波長を有する光信号をクロスコネクトするものであって、第 1 パケットスイッチ 24' と、第 1 空間スイッチ 17' と、第 2 空間スイッチ 18' と、第 3 空間スイッチ 19' と、第 4 空間スイッチ 20' とをそなえて構成されている。

【0160】この第 1 パケットスイッチ 24' は、アドパケット及びドロップ用の光信号をデコードした IP パケットを入力される入力ポートと、IP アドレスに応じて所定波長に割り当てられた光信号を出力する出力ポートとを有するパケットスイッチ 24' a を  $m$  個（ $m$  は整数）そなえて構成されている。さらに、パケットスイッチ部 11b は、複数のバッファ 11a と、第 1 パケットスイッチ 24' とをそなえて構成され、上記のパケットスイッチ部 11 と同様の機能を発揮するようになっている。

【0161】また、第 1 空間スイッチ 17' は、波長多重光信号に含まれる複数の相異なる波長の一つを有する光信号を入力される  $n$  入力ポート（ $n$  は整数）と、その複数の相異なる波長の一つと同一の波長を有する光信号を出力する  $2n$  出力ポートとを有する  $n \times 2n$  スイッチ 17' a、…、17' b を  $k - m$  個（ $k$  は整数）そなえて構成されている。

【0162】さらに、第 2 空間スイッチ 18' は、第 1 パケットスイッチ 24' からの光信号と第 1 空間スイッチ 17' からの光信号とを入力される  $k$  入力ポートと、 $k$  入力ポートから入力された光信号を所定の方路に選択して出力する  $k$  出力ポートとを有する  $k \times k$  スイッチ 18' a、18' b、…、18' c、18' d を  $2n$  個そなえて構成されている。

【0163】そして、第 3 空間スイッチ 19' は、第 2 空間スイッチ 18' からの光信号を入力される  $2n$  入力

ポートと、 $2n$ 入力ポートから入力された光信号を波長毎に選択して出力する $n$ 出力ポートとを有する $2n \times n$ スイッチ $19'a, \dots, 19'b$ を $k-m$ 個そなえて構成されている。加えて、第4空間スイッチ $20'$ は、第2空間スイッチ $18'$ からの光信号を入力される $2n$ 入力ポートと、 $2n$ 入力ポートから入力された光信号を波長毎に選択して出力する $n$ 出力ポートとを有する $2n \times n$ スイッチ $20'a, \dots, 20'b$ を $m$ 個そなえて構成されている。

【0164】また、これらの各空間スイッチは、それぞれ、図6(a)～図6(c)にて説明した単位スイッチ92から構成されているので、更なる説明を省略する。これにより、第1入力ポートP1から入力される光信号の流れは、次のようになる。まず、伝送路からの波長多重光信号は分波部21aを介して、第1空間スイッチ $17'$ の $n \times 2n$ スイッチ $17'a$ に入力され、そして、この $n \times 2n$ スイッチ $17'a$ に入力された光信号のうち、自局の光IPノード(光IPノード1)宛のものと、他の光IPノード(図示省略)宛のものとが、光信号の波長によって、選択される。そして、自局宛の光信号は、第4空間スイッチ $20'$ に接続されて、第1出力ポートP3からドロップされ、また、他局宛の光信号は、第3空間スイッチ $19'$ に接続されて、第2出力ポートP4から、他局宛に再度送出される。

【0165】同様に、第1空間スイッチ $17'$ の $n \times 2n$ スイッチ $17'b$ に入力された光信号のうち、自局宛のものと、他局宛のものとが、光信号の波長によって、選択され、自局宛の光信号は、第4空間スイッチ $20'$ に入力されて、第1出力ポートP3からドロップされ、また、他局宛の光信号は、第3空間スイッチ $19'$ に入力されて、第4ポートP4から、他局宛に再度送出される。

【0166】また、第3空間スイッチ $19'$ の $2n \times n$ スイッチ $19'a$ は、第2空間スイッチ $18'$ の $k \times k$ スイッチ $18'a, 18'b, \dots, 18'c, 18'd$ のそれぞれが接続した光信号が、それぞれ、入力されて、これらの入力された光信号が多重化されて第2出力ポートP4より出力されて、合波部21cにて各光信号が合波される。

【0167】これに対して、第4空間スイッチ $20'$ の $2n \times n$ スイッチ $20'a$ は、第2空間スイッチ $18'$ の $k \times k$ スイッチ $18'a, 18'b, \dots, 18'c, 18'd$ のそれぞれが接続した光信号が、それぞれ、入力されて、これらの入力された光信号が多重化されて第1出力ポートP3からドロップされる。このドロップされた光信号は、光/電気変換器(図示省略)にてそれぞれ、電気信号としてのIPパケットに変換されて、これらのIPパケットが出力される。

【0168】このような構成により、上記の第1実施形態で説明したことと同様に、正常時及び障害復旧時のIP

Pパケットのルーティングが行なわれる。そして、このように、パケットスイッチ $24'a, \dots, 24'b$ の出力ポートからの光信号が波長パススイッチ部 $10'$ の入力ポートに接続されているので、波長パススイッチ部 $10'$ とパケットスイッチ $24'a, \dots, 24'b$ の空間スイッチとが統合されているので、光IPノード1の装置規模を縮小することができる。

【0169】また、このようにして、対地当たりの利用率が低い時には、複数のIPパケットが、1波長に収容されるので、波長数の削減が図れるようになり、波長パス網50の利用率が向上し、効率的な運用が可能となる。

(A4) 本発明の第1実施形態の第4変形例の説明  
さらに、第2変形例の空間スイッチ部40aについて、一般化させることもできる。

【0170】図12は、本発明の第1実施形態の第4変形例に係る空間スイッチ部40cの構成図である。この図12に示す空間スイッチ部40cは、第1入力ポートP1、第2入力ポートP2と第1出力ポートP3、第2出力ポートP4とを有し、IPアドレス毎に割り当てられた複数の波長の光信号からなる波長多重光信号と他局アドレスを有するアドパケットとを、上記2つの入力ポートからそれぞれ入力されて、波長多重光信号の中から光IPノード1(自局光IPノード)宛の光信号を第1出力ポートP3からドロップ用の光信号として出力するとともに、波長多重光信号が含む他局宛の光信号と他局アドレスを有するアドパケットを含む光信号とを多重化して第2出力ポートP4から出力するものである。

【0171】そして、波長パススイッチ部32'は、第2パケットスイッチ $31'$ と、第5空間スイッチ $33'$ と、光分岐部 $34'$ と、第6空間スイッチ $35'$ と、第7空間スイッチ $36'$ と、波長選択部 $37'$ と、複数の光アンプ $38'a$ とをそなえて構成され、上記の波長パススイッチ部32と同様の機能を有する。さらに、パケットスイッチ部11cは、複数のバッファ11aと、第2パケットスイッチ $31'$ とをそなえて構成され、上記のパケットスイッチ部11と同様の機能を発揮するようになっている。

【0172】ここで、第2パケットスイッチ $31'$ は、アドパケットとドロップ用の光信号をデコードしたIPパケットを入力される $k$ 入力ポート( $k$ は整数)と、IPアドレスに応じて所定波長に割り当てられた光信号を出力する $2k$ 出力ポートとを有するパケットスイッチ $31'a, \dots, 31'b$ を $m$ 個( $m$ は整数)をそなえるほか、パケットスイッチ $31'a, \dots, 31'b$ から出力された光信号を増幅する複数の光アンプ $31'c$ をそなえて構成されている。

【0173】さらに、第5空間スイッチ $33'$ は、波長多重光信号を入力される $k$ 入力ポートと、同一の波長を有する光信号を分岐出力する $2k$ 入力ポートとを有する

$k \times 2k$  スイッチ  $33' a, \dots, 33' b$  を  $n-m$  個 ( $n$  は整数) そなえるほか、パケットスイッチ  $33' a, \dots, 33' b$  から出力された光信号を増幅する複数の光アンプ (OA: Optical Amplifier)  $33' c$  をそなえて構成されている。

【0174】また、光分岐部  $34'$  は、第2パケットスイッチ  $31'$  のパケットスイッチ  $31' a, \dots, 31' b$  のそれぞれから出力された  $m$  本の光信号と第5空間スイッチ  $33'$  の  $k \times 2k$  スイッチ  $33' a, \dots, 33' b$  のそれぞれから出力された  $n-m$  本の光信号とを、光アンプ  $38a'$  を介して、合波してその合波により波長多重された光信号を  $n$  本に分岐出力する光カプラ  $34' a, \dots, 34' b$  を  $2k$  個そなえて構成されている。

【0175】そして、第6空間スイッチ  $35'$  は、光分岐部  $34'$  から出力されたその合波による波長多重光信号を入力される  $2k$  入力ポートと、 $2k$  入力ポートから入力されたその合波による波長多重光信号を波長多重された状態で出力する  $k$  出力ポートとを有する  $2k \times k$  スイッチ  $35' a, \dots, 35' b$  を  $n-m$  個そなえて構成されている。

【0176】また、第7空間スイッチ  $36'$  は、光分岐部  $34'$  から出力されたその合波による波長多重光信号を入力される  $2k$  入力ポートと、 $2k$  入力ポートから入力されたその合波による波長多重光信号を波長多重された状態で出力する  $k$  出力ポートとを有する  $2k \times k$  スイッチ  $36' a, \dots, 36' b$  を  $m$  個そなえて構成されている。

【0177】また、これらの各空間スイッチは、それぞれ、図6(a)～図6(c)にて説明した単位スイッチ92から構成されているので、更なる説明を省略する。そして、波長選択部  $37'$  は、第6空間スイッチ  $35'$  からの光信号と第7空間スイッチ  $36'$  からの光信号とを入力されこれらの光信号に含まれる特定波長の光信号を選択して出力する光フィルタ  $37' a, \dots, 37' d$  を  $n \times k$  個そなえて構成されている。

【0178】さらに、複数の光アンプ  $38' a$  は、それぞれ、波長選択部  $37'$  の光フィルタ  $37' a, \dots, 37' d$  からそれぞれ出力された光信号を増幅するものである。これにより、この図12に示す第1入力ポートP1から入力される光信号の流れは、次のようになる。まず、伝送路からの波長多重光信号は分波部21aを介して、空間スイッチ部40cにある第5空間スイッチ  $33'$  の  $k \times 2k$  スイッチ  $33' a$  に入力され、自局の光IPノード宛のものと、他の光IPノード (図示省略) 宛のものとが、光信号の波長によって選択される。

【0179】そして、自局宛の光信号は、第7空間スイッチ  $36'$  に接続されて、第1出力ポートP3からドロップされ、また、他局宛の光信号は、第6空間スイッチ  $35'$  に接続されて、第2出力ポートP4から、他局宛に再度送出される。また、第6空間スイッチ  $35'$  の  $2$

$k \times k$  スイッチ  $35' a$  から出力された光信号と、第7空間スイッチ  $36'$  の  $2k \times k$  スイッチ  $36' a$  から出力された光信号とは、それぞれ、波長選択部  $37'$  の各光フィルタ  $37' a \sim 37' d$  にて、フィルタリングされ、光アンプ  $38' a$  にて増幅されて出力される。そして、これらの光アンプ  $38' a$  からの出力のうち、第6空間スイッチ  $35'$  からの出力側は、それぞれ、多重化されて第2出力ポートP4より出力されて合波部21c (図1参照) にて各光信号が合波される。

【0180】これに対して、第7空間スイッチ  $36'$  からの出力側は、それぞれ、多重化されて第1出力ポートP3よりドロップされて、このドロップされた光信号は、光/電気変換器 (図示省略) にてそれぞれ、電気信号としてのIPパケットに変換される。そして、このような構成により、上記の第1実施形態で説明したことと同様に、正常時及び障害復旧時のIPパケットのルーティングが行なわれるのである。

【0181】また、このように、パケットスイッチ  $31' a, \dots, 31' b$  の出力が、波長パスとなっており、波長パススイッチ部  $32'$  とパケットスイッチ  $31' a, \dots, 31' b$  の空間スイッチとが統合されているので、光IPノード1の装置規模を縮小することができる。また、このようにして、対地当たりの利用率が低い時には、複数のIPパケットが、1波長に收容されるので、波長数の削減が図れるようになり、波長パス網50の利用率が向上し、効率的な運用が可能となる。

【0182】(B) 本発明の第2実施形態の説明  
第1実施形態で説明した波長パス網50は、リング状のものであったが、この波長パス網50を別の接続形態にした場合でも、本発明に適用することができる。図13は、本発明の第2実施形態に係る波長パス網における正常時のIPパケット転送の説明図である。この図13に示す波長パス網52は、複数の光IPノード1～9がそれぞれ光信号を伝送しうる入出力伝送路を相互に有するメッシュ網である。そして、波長多重された光信号が双方向に伝送できるようになっている。また、各光IPノード1～9はそれぞれ、波長パスが相互に設定され、IPパケットがルーティングされるようになっている。

【0183】これらの光IPノード1～8は、それぞれ、第1実施形態で説明したものと同一のものであり、また、この図13に示す光IPノード9は、ルータ9a、9bと、パケットスイッチ部9c、9dと、波長パススイッチ部9eとを有する。これらのルータ9a、9bは、それぞれ、第1実施形態で説明したルータ15aと同一のものであり、また、パケットスイッチ部9c、9dは、それぞれ、第1実施形態で説明したパケットスイッチ部11と同一のものであり、波長パススイッチ部9eは、第1実施形態で説明した波長パススイッチ部10と同一のものであるので、これらに関する説明を省略する。なお、この図13に示すもので、上記のものと同

一の符号を有するものは、それらと同一のもの、又は、同様な機能を有するものであるもので、更なる説明を省略する。

【0184】また、第1実施形態と同様に、波長バス網52は、波長バス情報を、制御チャネルを用いて伝送し、各光IPノード1～9は、それぞれ、波長バス情報を知ることができるようになっている。そして、この図13において、波長 $\lambda_1$ 及び波長 $\lambda_2$ を用いてIPパケットを振り分ける際の利用率は、波長 $\lambda_1$ については、0.25であり、波長 $\lambda_2$ については、1.0である。

【0185】さらに、各光IPノード間において、IPパケットAは、光IPノード5から光IPノード3へルーティングされ、IPパケットBは、光IPノード4から光IPノード1へルーティングされ、IPパケットCは、光IPノード3から光IPノード1へルーティングされ、IPパケットDは、光IPノード2から光IPノード8へルーティングされるようになっている。

【0186】そして、このような構成によって、IPパケットの正常なルーティングが行なわれる。まず、IPパケットAは、光IPノード5のルータ5aから、パケットスイッチ部5cに入力され、波長 $\lambda_1$ の波長バス55aに割り当てられて、波長多重光信号として伝送路に出力される。この波長多重光信号は、光IPノード4の波長バススイッチ部4cにて、他の光IPノード宛と判定される。ここで、光IPノード4のルータ4aは、IPパケットBを送出するので、波長バススイッチ部4cにて、IPパケットAとともに波長 $\lambda_1$ の光信号に割り当てられて、再度、伝送路に出力される。すなわち、パケット切り替えが行なわれる。続いて、光IPノード3において、IPパケットAは、抽出される。

【0187】そして、IPパケットAが空になったので、波長バススイッチ部3eにて、光IPノード3のルータ3aからのIPパケットCが収容され、再度、伝送路にIPパケットB、Cのデータを有する波長多重光信号が送出される。これらのIPパケットB、Cのデータを有する波長多重光信号は、光IPノード2を介して、光IPノード1にて受信され、この光IPノード1の波長バススイッチ部1eにて、抽出されて、ルータ1a、1bにそれぞれ、IPパケットB、Cが、到達する。

【0188】一方、IPパケットDに関しては、光IPノード2のルータ2aから出力されて、パケットスイッチ部2eにて波長 $\lambda_2$ に割り当てられて、波長多重光信号が伝送される。この波長多重光信号は、光IPノード1を介して、光IPノード8に入力され、この光IPノード8の波長バススイッチ部8eにて、波長多重光信号からIPパケットDのデータが抽出されて、IPパケットDが、ルータ8bにルーティングされる。

【0189】このように、対地当たりの利用率が低い時には、設定された波長バスを利用して、IPパケット切り替えが行なわれ、メッシュ網において、正常なIPパ

ケットのルーティングが行なわれる。また、光IPノード3、4間や、光IPノード2、3間や、光IPノード1、2間では、2個のIPパケットが、それぞれ、1波長に収容されるので、波長バス網52での必要な波長数が削減される。また、このように、波長バス網52の利用率が向上し、効率的な運用が可能となる。

【0190】これに対して、波長バス網52に障害が発生したときは、波長バス切り替えとパケット切り替えとの両方が、行なわれることによって、障害復旧が行なわれる。また、所望の光IPノードに転送されるIPパケットの伝送速度が、1波長の伝送速度に満たない場合は、複数の光IPノードと波長とを共有することによって、パケットスイッチ1c、1d…、9c、9dを用いて中継が行なわれ、送受信される光IPノード間のパスが設定されるようになっている。

【0191】図14は、本発明の第2実施形態に係る波長バス網における障害復旧時のIPパケット転送の説明図であり、この図14に示す光IPノード1と光IPノード2との間の伝送路で障害が発生した後の、波長バス設定について、表示されている。また、この図14に示す波長バス網52は、複数の光IPノードがそれぞれ光信号を送送しうる入出力伝送路を相互に有するメッシュ網から構成されている。

【0192】なお、この図14に示すもので、上述したものと同一の符号を有するものは、同一のものあるいは同一の機能を有するものであるもので、これらに関する更なる説明を省略する。そして、同様に、各光IPノード1～9は、それぞれ、波長バス情報を知ることができ、波長 $\lambda_1$ 及び波長 $\lambda_2$ に関する利用率は、波長 $\lambda_1$ については、0.25であり、波長 $\lambda_2$ については、1.0である。

【0193】さらに、この障害で影響を受けるものは、IPパケットDのみであって、IPパケットA、B、Cについては、図13に示したものと同一のパスを通じて、伝送される。このような構成によって、波長バス切り替えによる障害復旧が行なわれる。IPパケットA、B、Cに関しては、それぞれ、パケット切り替えと波長バス切り替えとが行なわれる一方、IPパケットDに関しては、利用率が大きいので、波長バス切り替えが行なわれる。ここで、IPパケットDは、光IPノード2のルータ2aから出力されて、パケットスイッチ部2eにて波長 $\lambda_2$ に割り当てられ、波長多重光信号が伝送される。従って、IPパケットDが伝送する波長バスにて、その切り替えが行なわれるので、上記の障害復旧ステップが、障害が発生した区間におけるIPパケットの送受信ノード間（送受信光IPノード間）で、光信号が他局宛に送信されるための復旧バスを割り当てられるように構成されたことになる。

【0194】また、この波長多重光信号は、光IPノード3に入力され、この光IPノード3の波長バススイッ



チ部 3 e にて、波長多重光信号は、ルーティングされて、光 I P ノード 9、光 I P ノード 7 を介して、光 I P ノード 8 に入力される。そして、この光 I P ノード 8 の波長パススイッチ部 8 e は、この波長多重光信号から I P パケット D のデータを抽出して、I P パケット D が、ルータ 8 b にルーティングされる。

【0195】このように、送出側の光 I P ノードが、波長パスを切り替えることによって障害復旧がなされ、スルーする光 I P ノードにおいて波長パス切り替えが行なわれなくても、I P パケットは、目的の光 I P ノードに正常に送出される。そして、このように、メッシュ網において、障害が発生した場合に、スルーする光 I P ノード 1 ~ 9 で、波長パス切り替えとパケット切り替えにより、送出する側の光 I P ノードの波長パスが切り替えられて、障害復旧が行なわれる。

【0196】また、このように、送出側（送出側の光 I P ノードを意味する）の波長パス切り替えにより、対地当たりの利用率が低い時には、同一の伝送路に出力される複数の I P アドレスノードに転送される I P パケットが、1 つの波長に収容されるので、所要波長数の削減が図れるようになる。そして、複数の I P パケットが、1 波長に収容されるので、波長パス網 5 2 の利用率が向上し、効率的な運用が可能となる。

【0197】次に、波長パス網 5 2 に障害が発生したときの別の復旧態様として、送出側の光 I P ノードが波長パスを切り替える代わりに、送出側の光 I P ノードが、I P パケット切り替えることによって、I P パケットのルーティングを行なうこともできる。また、本実施形態においても、正常なパス設定の状態は、図 13 の状態と等しい。

【0198】図 15 は、本発明の第 2 実施形態に係る波長パス網における障害復旧時の他の I P パケット転送の説明図であり、この図 15 に示す光 I P ノード 4 と光 I P ノード 5 との間の伝送路で障害が発生した後の、波長パス設定について、表示されている。また、この図 15 に示す波長パス網 5 2 は、複数の光 I P ノードがそれぞれ光信号を伝送しうる入出力伝送路を相互に有するメッシュ網から構成されている。

【0199】さらに、図 15 の波長パス網 5 2 と比較して、この障害で影響を受けるものは、I P パケット A のみであって、I P パケット B、C、D については、図 15 に示したものと同一のパスを通過して、伝送される。このような構成によって、光 I P ノード 5 から送出される I P パケット A は、パケットスイッチ部 5 c にて波長パス 5 5 a ではなく、波長パス 5 5 b に割り当てられる。すなわち、図 13 のパケットスイッチ部 5 c と比較して、図 13 の波長パス 5 5 a は、光 I P ノード 5、4、3 というパスであるが、図 15 の波長パス 5 5 b は、光 I P ノード 5、9、3 というパスであり、この波長パスの切り替えが行なわれて、波長多重光信号が伝送され

る。

【0200】そして、光 I P ノード 9 を介して、光 I P ノード 3 に入力され、この光 I P ノード 3 の波長パススイッチ部 3 e にて、波長多重光信号から I P パケット A のデータが抽出されて、I P パケット A が、ルータ 3 b にルーティングされる。また、ここで、ルーティングされたため、空きになった波長 λ1 には、I P パケット C が重畳されて、光 I P ノード 1 に送出される。

【0201】このように、メッシュ網における障害が発生した場合の波長パス切り替えにおいて、スルーする光 I P ノード 9 が、波長パス切り替えを行なうのではなく、送出側の光 I P ノード 5 が波長パスを切り替えることによって、障害復旧が行なわれ、目的の光 I P ノード 3 に正常に送出される。また、このように、送出側の波長パス切り替えにより、対地当たりの利用率が低い時には、同一の伝送路に出力される複数の I P アドレスノードに転送される I P パケットが、1 つの波長に収容されるので、波長数の削減が図れるようになる。そして、複数の I P パケットが、1 波長に収容されるので、波長パス網 5 2 の利用率が向上し、効率的な運用が可能となる。

【0202】(B1) 本発明の第 2 実施形態の第 1 変形例の説明

第 2 実施形態の波長パス網 5 2 は、メッシュ網において、送出側が、波長パス切り替え、又は、I P パケット切り替えを行なって、障害復旧がなされていたが、この波長パス切り替え、又は、I P パケット切り替えを、それぞれ、故障（障害が発生）した場所の手前に位置する光 I P ノード（故障端）にて、行なわれるようにすることもできる。

【0203】図 16 は、本発明の第 2 実施形態の第 1 変形例に係る波長パス網における障害復旧時の I P パケット転送の説明図である。この図 16 に示す波長パス網 5 2 は、光 I P ノード 1 ~ 光 I P ノード 9 が、それぞれ、メッシュ状に接続されて、波長多重光信号が双方向に伝送でき、また、各光 I P ノード 1 ~ 9 はそれぞれ、波長パスが相互に設定され、I P パケットがルーティングされるようになっている。従って、複数の光 I P ノードがそれぞれ光信号を伝送しうる入出力伝送路を相互に有するメッシュ網から構成されている。

【0204】さらに、各 I P パケットのルーティングは、次のようになる。まず、I P パケット A は、光 I P ノード 5 から光 I P ノード 3 であり、I P パケット B は、光 I P ノード 4 から光 I P ノード 1 であり、I P パケット C は、光 I P ノード 3 から光 I P ノード 1 であり、I P パケット D は、光 I P ノード 2 から光 I P ノード 8 である。

【0205】さらに、この図 16 に示すもので、上述したものと同一の符号を有するものは、同一のもの又は、同一の機能を有するものであるもので、これらに関する更

なる説明を省略する。また、波長パス網52は、波長パス情報を、制御チャネルを用いて伝送し、各光IPノード1～9は、それぞれ、波長パス情報を知ることができるようになっている。そして、この図16において、波長 $\lambda_1$ 及び波長 $\lambda_2$ に関する利用率は、波長 $\lambda_1$ が、0.25であり、波長 $\lambda_2$ は、1.0である。

【0206】そして、このような構成によって、この図16の光IPノード8と光IPノード1との間で、障害が発生した場合には、IPパケットA、B、Cに関しては、それぞれ、パケット切り替えと波長パス切り替えとが行なわれ、IPパケットDに関しては、利用率が大きいので、波長パス切り替えが行なわれる。まず、IPパケットAは、波長 $\lambda_1$ の光信号に割り当てられて、波長多重光信号として伝送路に出力され、この波長多重光信号は、光IPノード4の波長パススイッチ部4eにて、他の光IPノード宛と判定される。ここで、光IPノード4のルータ4aは、IPパケットBを送出するので、波長パススイッチ部4eにて、IPパケットAとIPパケットBとは、ともに波長 $\lambda_1$ の光信号に割り当てられて、伝送路に出力される。

【0207】続いて、光IPノード3において、IPパケットAは、抽出され、この光IPノード3のルータ3bにIPパケットAが出力され、IPパケットAが空になる。また、ルータ3aは、IPパケットCを送出するので、パケットスイッチ部3cにて、IPパケットB、Cのデータが同一の波長を有する光信号に変換されて、波長多重光信号が送出される。この波長多重光信号は、光IPノード2を介して、光IPノード1にて受信され、この光IPノード1の波長パススイッチ部1eにて、抽出されて、ルータ1a、1bにそれぞれ、IPパケットB、Cが、ルーティングされる。

【0208】一方、障害が発生したパスを使用していたIPパケットDに関しては、光IPノード2のルータ2aから出力され、波長パスの切り替えが行なわれてから、波長多重光信号が送出される。この送出された波長多重光信号は、光IPノード1に入力される。この光IPノード1は、故障端であって、2回目の波長パス切り替えを行ない、IPパケットDを有する波長多重光信号は、光IPノード9及び光IPノード7をそれぞれ介して、光IPノード8に入力される。そして、この光IPノード8の波長パススイッチ部8eにて、波長多重光信号からIPパケットDのデータが抽出されて、IPパケットDが、ルータ8bにルーティングされる。従って、上記の障害復旧ステップが、障害が発生した区間に隣接するノード間（送受信光IPノード間）で、光信号が他局宛に送信されるための復旧パスを割り当てられるように構成されたことになる。

【0209】このように、障害が発生した場所の手前の光IPノード1が、パスを変更するので、メッシュ網においても、IPパケットのルーティングが行なわれる。

なお、この手前とは、IPパケットAを送信する方からみて手前であり、また、この光IPノード1は、故障端として、波長パス切り替えを行なう。次に、波長パス切り替えの代わりに、IPパケット切り替えによって、障害復旧を行なうこともできる。また、本変形例においても、正常なパス設定の状態は、図13の状態と等しい。

【0210】図17は、本発明の第2実施形態の第1変形例に係る波長パス網における障害復旧時の他のIPパケット転送の説明図であり、この図17に示す光IPノード4と光IPノード5との間の伝送路で障害が発生した後の、波長パス設定について、表示されている。また、この図17に示す波長パス網52は、複数の光IPノードがそれぞれ光信号を伝送しうる入出力伝送路を相互に有するメッシュ網から構成されている。

【0211】なお、図13の波長パス網52と比較して、この障害で影響を受けるものは、IPパケットAのみであって、IPパケットB、C、Dについては、図13に示したものと同一のパスを通過して、伝送される。このような構成によって、IPパケットAは、ルータ5aから送出されると、パケットスイッチ部5cは、波長パス55aでなく波長パス55bに切り替える。この波長パス55bは、光IPノード5、9、3、4を通過するパスであるために、光IPノード5からの波長多重光信号は、光IPノード4側に出力されず、光IPノード4に入力される。すなわち、IPパケットAは、パケット切り替えにより、波長パスが変更されている。そして、この光IPノード4の波長パススイッチ部4eにて一旦抽出され、その抽出されたIPパケットAは、再度、パケットスイッチ部4cにて、波長パスを切り替えられて、IPパケットBとともに、光IPノード3に入力される。

【0212】このように、障害復旧は、送出側の光IPノード5が、IPパケット切り替えを行なうことにより、IPパケットが目的の光IPノード3に正常に送出される。また、このように、メッシュ網において、障害が発生した場合に、各光IPノード1～9が、波長パス切り替えとパケット切り替えとにより、故障端の光IPノードが波長パスを切り替えることによって、障害復旧を行なうことができ、目的の光IPノードにIPパケットが、正常に送出される。

【0213】そして、このように、故障端での波長パス切り替えにより、対地当たりの利用率が低い時には、同一の伝送路に出力される複数のIPアドレスノードに転送されるIPパケットが、1つの波長に収容されるので、波長パス切り替えに加えて、波長数の削減が図れるようになる。加えて、複数のIPパケットが、1波長に収容されるので、波長パス網52の利用率が向上し、効率的な運用が可能となる。

【0214】(C) 本発明の第3実施形態の説明  
第1実施形態では、リング状の波長パス網50における

障害復旧について説明された。また、第2実施形態では、メッシュ網において、送出側が、波長パス切り替え又はIPパケット切り替えを行なうことにより、障害復旧がなされる例が示された。そして、第2実施形態の第1変形例では、メッシュ網において、障害が発生した場所の手前に位置する光IPノード（故障端）が、波長パス切り替え又はIPパケット切り替えを行なうことにより、障害復旧がなされる例が示された。

【0215】本実施形態では、障害復旧用の波長パスが設定されている区間で同一の波長を用いてパスを設定する場合と、障害復旧用の波長パスが設定されている区間で伝送路に応じて波長を変えて波長パスを設定する場合について説明する。まず、図18で、正常なルーティングについて説明し、図19で、障害復旧用の波長パスが設定されている区間で同一の波長を用いてパスを設定する場合を説明し、また、図20で、障害復旧用の波長パスが設定されている区間で伝送路に応じて波長を変えて波長パスを設定する場合を説明する。

【0216】図18は、本発明の第3実施形態に係る波長パス網における正常時のIPパケット転送の説明図である。この図18に示す波長パス網53は、光IPノード1～光IPノード8を有し、これらの光IPノード1～8が、それぞれ、光ファイバでリング状に接続されて、波長多重された光信号が双方向に伝送できるようになっている。また、各光IPノード1～8はそれぞれ、波長パスが相互に設定され、IPパケットがルーティングされるようになっている。さらに、この波長パス網53は、波長パスが設定されている区間において、同一の波長が使用されるようになっている。

【0217】これらの光IPノード1～8は、それぞれ、第1実施形態で説明したものと同一のものであり、上述したものと同一の符号を有するものは、同一のものあるいは同一の機能を有するものであるもので、これらに関する更なる説明を省略する。また、波長パス網53は、波長パス情報を、制御チャネルを用いて伝送することにより、各光IPノード1～8は、それぞれ、波長パス情報を知ることができる。さらに、この図18において、波長 $\lambda 1$ 及び波長 $\lambda 2$ に関する利用率は、波長 $\lambda 1$ については、0.25であり、波長 $\lambda 2$ については、1.0である。

【0218】また、所望の光IPノードに転送されるIPパケットの伝送速度が、1波長の伝送速度に満たない場合は、複数の光IPノードと波長とを共有することによって、パケットスイッチ1c、1d…、8c、8dを用いて中継が行なわれ、送受信される光IPノード間のパスが設定されるようになっている。そして、各IPパケットのルーティングは、次のようになる。まず、IPパケットAは、光IPノード5から光IPノード3であり、IPパケットBは、光IPノード5から光IPノード1であり、IPパケットCは、光IPノード3から光

IPノード1であり、IPパケットDは、光IPノード8から光IPノード2である。

【0219】このような構成によって、正常時においては、IPパケットA、B、Cに関しては、それぞれ、パケット切り替えと波長パス切り替えとが行なわれ、IPパケットDに関しては、利用率が大きいので、波長パス切り替えが行なわれる。まず、IPパケットA及びIPパケットBは、それぞれ、波長パス55bに割り当てられて、波長パススイッチ部5eから、波長多重光信号として伝送路に出力される。この波長多重光信号は、光IPノード4を介して、光IPノード3に入力され、光IPノード3の波長パススイッチ部3eにて、IPパケットAは、抽出される。一方、光IPノード3のルータ3aから送出されたIPパケットCは、IPパケットAを抽出したことによって、空きができた波長多重光信号に、収容されて、IPパケットBとIPパケットCとのデータを有する波長多重光信号が、伝送路に出力される。

【0220】この波長多重光信号は、光IPノード2を介して、光IPノード1に入力され、この光IPノード1の波長パススイッチ部1eにて、抽出されて、IPパケットB、Cが、ルータ1a、1bにそれぞれ、入力される。一方、IPパケットDに関しては、光IPノード2から、波長 $\lambda 2$ に割り当てられ、この波長 $\lambda 2$ を有する波長多重光信号が伝送される。この波長多重光信号は、光IPノード1を介して、光IPノード8に入力され、この光IPノード8の波長パススイッチ部8eにて、波長多重光信号からIPパケットDのデータが抽出されて、IPパケットDが、ルータ8bにルーティングされる。

【0221】このように、波長パス切り替えとIPパケット切り替えとを用いて、リング状の波長パス網53において、IPパケットのルーティングが行なわれる。また、光IPノード4、5間や、光IPノード3、4間や、光IPノード2、3間や、光IPノード1、2間では、2個のIPパケットが、それぞれ、1波長に収容されるので、波長パス網53での必要な波長数が削減され、波長パス網53の利用率が向上し、効率的な運用が可能となる。

【0222】これに対して、波長パス網53に障害が発生したときは、固定的な波長切り替えによって、障害復旧が行なわれる。図19は、本発明の第3実施形態に係る波長パス網における障害復旧時のIPパケット転送の説明図であり、この図19に示す光IPノード1と光IPノード2との間の伝送路で障害が発生した後の、波長パス設定について、表示されている。

【0223】なお、この図19に示すもので、上述したものと同一の符号を有するものは、同一のものあるいは同一の機能を有するものであるもので、これらに関する更なる説明を省略する。そして、同様に、各光IPノード

1～8は、それぞれ、波長パス情報を知ることができ、波長 $\lambda 1$ 及び波長 $\lambda 2$ に関する利用率は、波長 $\lambda 1$ については、0.25であり、波長 $\lambda 2$ については、1.0である。さらに、各IPパケットのルーティングも、図18で説明したものと同様である。また、この波長パス網53は、波長パスが設定されている区間における各伝送路で、異なる波長が使用されるようになっている。

【0224】さらに、この障害で影響を受けるものは、IPパケットB、C、Dであって、IPパケットAだけが、図18に示したものと同一のパスを通過して、伝送される。このような構成によって、IPパケットA、B、Cに関しては、それぞれ、パケット切り替えと波長パス切り替えとが行なわれ、IPパケットDに関しては、利用率が大きいので、波長パス切り替えが行なわれる。

【0225】まず、IPパケットAは、パケットスイッチ部5cにより、パケット切り替えされて、波長パス55bから波長パス55aに寄せ替えられて、光IPノード5から光IPノード3宛にルーティングされる。一方、IPパケットBは、光IPノード5のルータ5bから出力され、波長パススイッチ部5eにより、光IPノード6方向の波長 $\lambda 1$ の波長多重光信号に乗せるように、波長パス切り替えが行なわれる。また、IPパケットCは、波長パススイッチ部3cにより、波長 $\lambda 1$ の復旧用の波長パスに割り当てられて、光IPノード3から出力され、光IPノード4に伝送される。さらに、IPパケットB、Cは、それぞれ、波長パススイッチ部5cにて、復旧用の波長パスに割り当てられて、波長多重光信号が伝送される。すなわち、IPパケットBに関しては、あたかも、便乗しているかのように、伝送される。

【0226】また、この波長多重光信号は、光IPノード6、7、8をそれぞれ介して、光IPノード1に入力され、この光IPノード1の波長パススイッチ部1eにて、これらIPパケットB、Cは、それぞれ、抽出されて、ルータ1a、1bにルーティングされるのである。一方、IPパケットDは、光IPノード2から出力され、波長パススイッチ部2eにて復旧用の波長 $\lambda 2$ を有する波長パスに割り当てられて、波長多重光信号が出力される。この波長多重光信号は、光IPノード3、4、5、6、7をそれぞれ、介して、光IPノード8に入力される。そして、この光IPノード8の波長パススイッチ部8eは、この波長多重光信号からIPパケットDのデータを抽出して、IPパケットDが、ルータ8bにルーティングされるのである。

【0227】このように、障害復旧用の波長パスが設定されている区間において、同一の波長が用いられて、パスが設定されている。さらに、このように、リング状の波長パス網53において、障害が発生した場合には、スルーする光IPノード1～8においては、波長パス切り替えが行われずに、送出する側の光IPノードが波長パスを切り替えることによって、障害復旧が行なわれる。

すなわち、中継される光IPノードにおける波長パス切り替えが行なわれなくても、目的の光IPノードに正常に送出される。

【0228】また、このように、送出側の波長パス切り替えにより、同一の伝送路に出力される複数のIPアドレスノードに転送されるIPパケットが、1つの波長に収容されるので、波長数の削減が図れ、波長パス網53の利用率が向上し、効率的な運用が可能となる。次に、障害復旧用の波長パスが設定されている区間において、伝送路に応じて復旧用の波長として異なる波長が割り当てられたパスが設定され、IPパケットのルーティングを行なうこともできる。また、本実施形態においても、正常なパス設定の状態は、図13の状態と等しい。

【0229】図20は、本発明の第3実施形態に係る波長パス網における障害復旧時の他のIPパケット転送の説明図であり、この図20に示す光IPノード1と光IPノード2との間の伝送路で障害が発生した後の、波長パス設定について、表示されている。なお、この図20に示すもので、上述したものと同一の符号を有するものは、同一のものあるいは同一の機能を有するものであるため、これらに関する更なる説明を省略する。そして、同様に、各光IPノード1～8は、それぞれ、波長パス情報を知ることができ、波長 $\lambda 1$ 及び波長 $\lambda 2$ に関する利用率は、波長 $\lambda 1$ については、0.25であり、波長 $\lambda 2$ については、1.0である。さらに、各IPパケットのルーティングも、図18で説明したものと同様である。

【0230】さらに、図18の波長パス網53と比較して、この障害で影響を受けるものは、IPパケットB、C、Dであって、IPパケットAにだけが、図18に示したものと同一のパスを通過して、伝送される。このような構成によって、IPパケットA、B、Cに関しては、それぞれ、パケット切り替えと波長パス切り替えとが行なわれ、IPパケットDに関しては、利用率が大きいので、波長パス切り替えが行なわれる。

【0231】まず、IPパケットAは、パケットスイッチ部5cにて波長パス55aにパケット切り替えされて、光IPノード3宛に出力される。ここで、光IPノード3のルータ3aから、IPパケットCが復旧用の波長 $\lambda 2$ で出力されるので、波長 $\lambda 1$ で出力される場合（図18参照）と異なっている。また、IPパケットBも、光IPノード5のルータ5bから出力され、波長パスの切り替えが行なわれる。そして、IPパケットCも、光IPノード3の波長パススイッチ部3eにて、波長パス切り替えが行なわれて、波長 $\lambda 2$ で出力されるので、光IPノード5にて、これらIPパケットB、Cが一緒にされ、IPパケットB、Cのデータを有する波長 $\lambda 2$ の波長多重光信号が出力される。

【0232】この波長多重光信号は、光IPノード6、7、8をそれぞれ介して、光IPノード1に入力され、この光IPノード1の波長パススイッチ部1eにて、こ

れらIPパケットB、Cは、それぞれ、抽出されて、ルータ1a、1bにルーティングされるのである。一方、IPパケットDは、光IPノード2から出力され、パケットスイッチ部2cにて波長 $\lambda_1$ に割り当てられて、波長多重光信号が出力される。ここで、図18及び図19においては、波長 $\lambda_2$ に割り当てがなされる。この波長多重光信号は、光IPノード3、4、5、6、7をそれぞれ、介して、光IPノード8に入力される。そして、この光IPノード8の波長パススイッチ部8eは、この波長多重光信号からIPパケットDのデータを抽出して、IPパケットDが、ルータ8bにルーティングされるのである。

【0233】このように、障害復旧用の波長パスが設定されている区間において、伝送路に応じて復旧用の波長として異なる波長が割り当てられたパスが設定される。また、リング網において発生する無駄なループバックを回避できる。さらに、このように、リング状の波長パス網53において、障害が発生した場合に、スルーする光IPノード1～8で、波長パス切り替えを行わないで、送出側の光IPノードが波長パスを切り替えることによって、障害復旧を行なえる。すなわち、中継される光IPノードにおける波長パス切り替えが行なわれなくても、目的の光IPノードに正常に送出される。

【0234】また、このように、送出側の波長パス切り替えにより、対地当たりの利用率が低い時には、同一の伝送路に出力される複数のIPアドレスノードに転送されるIPパケットが、1つの波長に収容されるので、波長パス切り替えに加えて、波長数の削減が図れるようになる。加えて、波長パス網53の利用率が向上し、効率的な運用が可能となる。

【0235】(D)その他

また、本発明は上述した各実施形態及び各変形例での態様に限定されるものではなく、本発明の趣旨を逸脱しない範囲で、種々変形して実施することができる。例えば、上記の波長パス網50、51、52、53は、それぞれ、リング状の波長パス網であるが、メッシュ網のような他の接続形状の波長パス網に関しても、実施可能である。

【0236】さらに、図21、22を用いて、評価結果を説明する。図21は、波長数についての比較図であって、波長パス網50、51、52、53に必要な波長数について本発明に適用した場合と従来構成の場合とを比較した図である。この図21に示すノード模型51は、16基の光IPノード格子51aが接続された16ノード格子網であり、このノード模型51におけるパラメータは、次のようになる。すなわち、全パス数は、各光IPノード毎に網を張り巡らせた状態（フルメッシュ）において、パスを2本ずつ設けたとして、 $16C_2 \times 2$ 本である。ここで、 $16C_2$ は、16個のうち2個を取り出す組み合わせ数を表す。

【0237】なお、パラメータに関しては、各パス当たりの平均の伝送速度は、2.5Gbpsであり、波長の伝送速度は、10Gbpsである。また、光IPノード格子51aは、上記の光IPノード1と同一のものである。同一の光IPノード宛のパス上で、それぞれ、平均的に5Gbpsのトラフィック量に相当するIPパケットが流れている場合において、従来構成では5Gbps（10Gbpsの利用率0.5）のトラフィック量に相当するIPパケットが1つの波長に収容されて、他の光IPノード宛のIPパケットとは波長が共有されないために、伝送路の利用率が5Gbpsである。これに対し、本発明を適用した波長パス網では、同一の光IPノード宛のパスが、2.5Gbpsずつ2本の波長に割り当てられる代わりに、他の光IPノード宛の波長パスが共有されるので、利用率が上がる。従って、本発明で必要となる波長数は、16波であるのに対して、従来例では29波であるので、必要とする波長パスの数は、約半分程度まで削減できる利点がある。

【0238】図22は、素子数についての比較図であって、光IPノードで必要となる $2 \times 2$ スイッチについて、本発明での素子数と従来構成での素子数とを比較した図である。この図22に示すパラメータは、次のようになる。すなわち、波長多重数は、32波であり、入出力伝送路数は8であり、また、パケットスイッチ部11の容量Aは、320Gbpsであり、パケットスイッチの数は、2個であり、加えて、伝送速度は10Gbpsである。

【0239】そして、同一の規模の容量（例えば2.5Tbps）をもつ光IPノードを構成した場合、上記の実施形態で説明した3段スイッチ回路網と比較すると、パケットスイッチ部11のスイッチ素子数が約15%削減でき、さらに、従来構成のパケットスイッチ部85

（図26参照）の2段目、3段目のバッファが不要となる。従って、各光IPノードの装置規模が格段に小型化できるようになる。

【0240】また、図3に示す波長パス56aは、専用光パスであって、宛先アドレスが単一のパケットを収容するためのものであり、波長パス56bは、共有光パスであって、複数の宛先アドレスを有するパケットを収容するためのものである。従って、例えば、図7において、光IPノード3～5間のIPパケットA、Bや光IPノード3～1間のIPパケットB、Cのように、複数のIPパケットを収容したものは、専用光パスであり、一方、光IPノード2～8間のIPパケットDのように、単一のIPパケットを収容したものは、共有光パスである。これらは、図7のほか、図8、9及び図13～20においても同様である。

【0241】さらに、上記の波長パスとは、光パス（Optical Path）とも呼ばれることがある。また、図10、12に示す空間スイッチ部40a、40cは、それぞ

れ、フラッシュスイッチ (Frash Switch: Frequency Multiplexed Routing and Selecting Hybrid) と呼ばれることもある。

#### 【0242】

【発明の効果】以上詳述したように、本発明の光ノードによれば、2つの入力ポートと2つの出力ポートとを有し、宛先アドレス毎に割り当てられた複数の波長の光信号からなる波長多重光信号と他局アドレスを有するアドパケットとを、上記2つの入力ポートからそれぞれ入力されて、波長多重光信号の中から自局宛の光信号を第1の出力ポートからドロップ用の光信号として出力するとともに、波長多重光信号を含む他局宛の光信号と他局アドレスを有するアドパケットに起因する光信号とを多重化して第2の出力ポートから出力する空間スイッチ部と、電気信号として出力された複数のアドパケットを保持し空間スイッチ部に入力するバッファとをそなえ、波長パス切り替え部が、上記空間スイッチ部の一部分であって波長多重光信号の各光信号を波長毎に分岐する空間スイッチを設け、自局宛の光信号を抽出してドロップ用の光信号を第1の出力ポートから出力し、波長多重光信号を含む他局宛の光信号と他局アドレスを有するアドパケットに起因する光信号とを多重化して第2の出力ポートから出力するように構成され、パケット切り替え部が、上記空間スイッチ部の残りの部分であって波長多重光信号の各光信号を波長毎に分岐する空間スイッチと上記バッファとを設け、波長パス切り替え部から出力されたドロップ用の光信号に起因するパケットとバッファからの複数のアドパケットとを入力され、第1の出力ポートから出力された光信号に起因するパケットと複数のアドパケットとをそれぞれ宛先アドレス毎に所定波長を割り当てた光信号として波長パス切り替え部に入力するように構成されているので、パケット切り替え部が多段接続されず、光ノードの小型化ができ、光伝送網を構築するためのコストの低廉化が図れる利点がある。また、バッファの追加により、パケット切り替え部を増設できるので、トラフィック量の変動に応じた光ノードの運用が可能となり、さらに、大規模な交換容量を有するトラフィックを処理できる利点がある (請求項1)。

【0243】さらに、本発明の光ノードは、パケット切り替え部と、波長パス切り替え部と、波長多重光信号に基づいて、伝送路障害の発生を検出し検出信号を出力する伝送路障害検出部と、伝送路障害検出部からの検出信号を受信すると、波長多重光信号の各光信号を波長毎に選択し波長パスを切り替えて光信号を出力する切り替え制御部とをそなえて構成されているので、波長パス切り替え部とパケット切り替え部との両方を用いて障害復旧が行なえて、光伝送網の波長数が削減され、波長パス網の利用率が向上し、効率的な運用が図れる利点がある (請求項2, 3, 6, 7)。

【0244】また、空間スイッチ部は、パケットスイッ

チを $m$ 個 ( $m$ は整数) そなえた第1パケットスイッチと、 $n \times 2n$  スイッチを $k-m$ 個 ( $k$ は整数) そなえた第1空間スイッチと、 $k \times k$  スイッチを $2n$ 個そなえた第2空間スイッチと、 $2n \times n$  スイッチを $k-m$ 個そなえた第3空間スイッチと、 $2n \times n$  スイッチを $m$ 個そなえた第4空間スイッチとをそなえて構成されてもよく、あるいは、空間スイッチ部が、パケットスイッチを $m$ 個そなえた第2パケットスイッチと、 $k \times k$  スイッチを $n-m$ 個そなえた第5空間スイッチと、光カプラを $2k$ 個そなえた光分岐部と、 $2k \times k$  スイッチを $n-m$ 個そなえた第6空間スイッチと、 $2k \times k$  スイッチを $m$ 個そなえた第7空間スイッチと、光フィルタを $n \times k$ 個そなえた波長選択部とをそなえて構成されてもよく、このようにすれば、パケットの切り替えが、多段に行なわれないので、装置規模が縮小され、ひいては、光ノードの小型化が図れる利点がある (請求項4, 5)。

【0245】そして、本発明の送信用の光ノードは、空間スイッチ部と、電気信号としてのパケットを所定の時間間隔で出力する監視パケット送信部とをそなえて構成されているので、障害検出を行なう光ノードの小型化ができる利点がある (請求項8)。また、本発明の受信用の光ノードは、空間スイッチ部と、バッファと、光断検出部と、監視パケット受信部と、パス切り替え制御部と、バッファ読み出し/パケットスイッチ切り替え制御部とをそなえて構成されているので、やはり、障害検出を行なう光ノードの小型化ができる利点がある (請求項9~11)。

【0246】加えて、本発明の光ノードは、複数の相異なる波長を有する光信号を複数の入力ポートから入力され、複数の相異なる波長を有する光信号を、複数段の光空間スイッチにて切り替えて所定の出力ポートに出力する波長パス切り替え部と、波長パス切り替え部が有する複数の入力ポートのうち所定数のポートに接続され、宛先アドレスを有するパケットを保持してそのパケットを所定数のポートに入力するバッファとをそなえ、波長パス切り替え部の一部の光空間スイッチに代えて、このバッファに入力されたパケットを宛先アドレス毎に所定波長を割り当てた光信号に変換して出力するパケット切り替え部で構成しているので、入力されるトラフィック量の変動に応じて光ノードの運用が可能となり、必要な波長数の増加に対して拡張性が向上する利点がある (請求項22)。

【0247】そして、本発明の波長パス網用障害復旧方法は、波長多重光信号から自局宛の光信号と他局宛の光信号とがそれぞれ出力され (入力パケット処理ステップ)、その出力された光信号からパケットがデコードされてデコードされたパケットと複数のアドパケットとがそれぞれ宛先アドレス毎に所定波長の光信号に割り当てられ (出力パケット処理ステップ)、そして、その光信号の宛先光ノードの数が抽出され (ノード数抽出ステッ

ブ)、また、波長パスを確保すべく、入力パケット処理ステップにて出力された光信号と出力パケット処理ステップにて出力された光信号とに所定波長が割り当てられて光信号が出力され(波長パス処理ステップ)、さらに、伝送路障害の発生が検出され(伝送路障害検出ステップ)、宛先ノードの数に基づいて、パケット切り替え部又は波長パス切り替え部のうち少なくとも一方を用いて、パケットが宛先アドレスに対応した光ノードに転送されるので(障害復旧ステップ)、このようにすれば、波長パス切り替えとパケット切り替えとが行なえて、障害復旧が効率的に行なえて、必要な波長数の増加に対して拡張性が向上する利点がある(請求項12~請求項21, 請求項23)。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1実施形態に係る光IPノードの構成図である。

【図2】本発明の第1実施形態に係る空間スイッチ部の構成図である。

【図3】本発明の第1実施形態に係る障害復旧制御部の構成図である。

【図4】本発明の第1実施形態に係る波長パス切り替えによる障害復旧の動作説明図である。

【図5】本発明の第1実施形態に係るIPパケット切り替えによる障害復旧の動作説明図である。

【図6】(a)は空間スイッチの模式図であり、(b)は電圧が印加されていないときの単位スイッチの模式図であり、(c)は電圧が印加されたときの単位スイッチの模式図である。

【図7】本発明の第1実施形態に係る波長パス網における正常時のIPパケット転送の説明図である。

【図8】本発明の第1実施形態に係る波長パス網における障害復旧時のIPパケット転送の説明図である。

【図9】本発明の第1実施形態の第1変形例に係る波長パス網における障害復旧時のIPパケット転送の説明図である。

【図10】本発明の第1実施形態の第2変形例に係る空間スイッチ部の構成図である。

【図11】本発明の第1実施形態の第3変形例に係る空間スイッチ部の構成図である。

【図12】本発明の第1実施形態の第4変形例に係る空間スイッチ部の構成図である。

【図13】本発明の第2実施形態に係る波長パス網における正常時のIPパケット転送の説明図である。

【図14】本発明の第2実施形態に係る波長パス網における障害復旧時のIPパケット転送の説明図である。

【図15】本発明の第2実施形態に係る波長パス網における障害復旧時の他のIPパケット転送の説明図である。

【図16】本発明の第2実施形態の第1変形例に係る波長パス網における障害復旧時のIPパケット転送の説明

図である。

【図17】本発明の第2実施形態の第1変形例に係る波長パス網における障害復旧時の他のIPパケット転送の説明図である。

【図18】本発明の第3実施形態に係る波長パス網における正常時のIPパケット転送の説明図である。

【図19】本発明の第3実施形態に係る波長パス網における障害復旧時のIPパケット転送の説明図である。

【図20】本発明の第3実施形態に係る波長パス網における障害復旧時の他のIPパケット転送の説明図である。

【図21】波長数についての比較図である。

【図22】素子数についての比較図である。

【図23】光アド・ドロップ機能の概念図である。

【図24】光IPノードの物理的な構成図である。

【図25】光IPノードの論理的な構成図である。

【図26】パケットスイッチ部の構成図である。

【図27】波長パス網における正常時のIPパケット転送の説明図である。

【図28】波長パス網における障害復旧時のIPパケット転送の説明図である。

#### 【符号の説明】

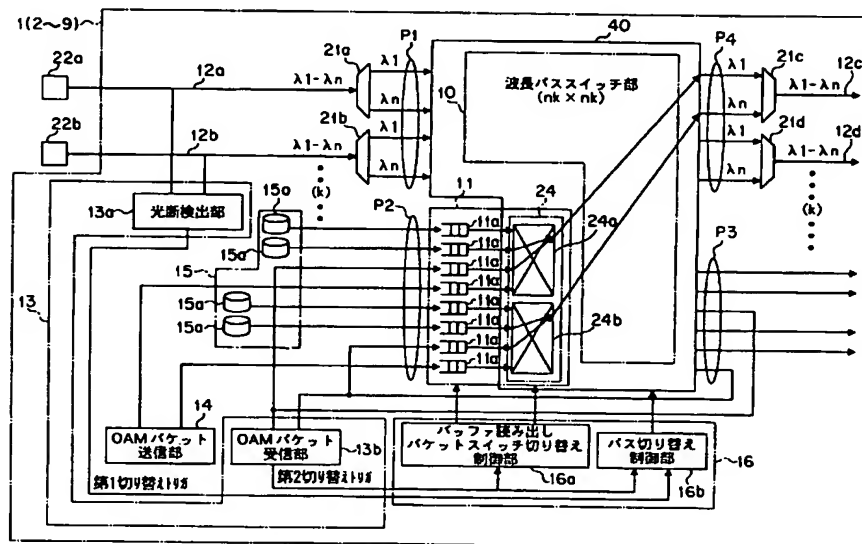
1~9, 22a, 22b 光IPノード  
 1a~9a, 1b~9b, 15a ルータ  
 1c~9c, 1d~9d, 11, 11', 11b, 11c パケットスイッチ部  
 1e~7e, 10, 32, 32' 波長パススイッチ部  
 11a バッファ  
 12a, 12b 入力伝送路  
 12c, 12d 出力伝送路  
 13 伝送路障害検出部  
 13a 光断検出部  
 13b OAMパケット受信部  
 14 OAMパケット送信部  
 15 ルータ群  
 16 障害復旧制御部  
 16a バッファ読み出し/パケットスイッチ切り替え制御部  
 16b パス切り替え制御部  
 17, 17' 第1空間スイッチ  
 18, 18' 第2空間スイッチ  
 18a~18d, 18'a~18'd 16×16スイッチ  
 19, 19' 第3空間スイッチ  
 19a~19b, 19'a~19'b, 20a~20b, 20'a~20'b 32×16スイッチ  
 20, 20' 第4空間スイッチ  
 21a, 21b 分波部  
 21c, 21d 合波部  
 24, 24' 第1パケットスイッチ



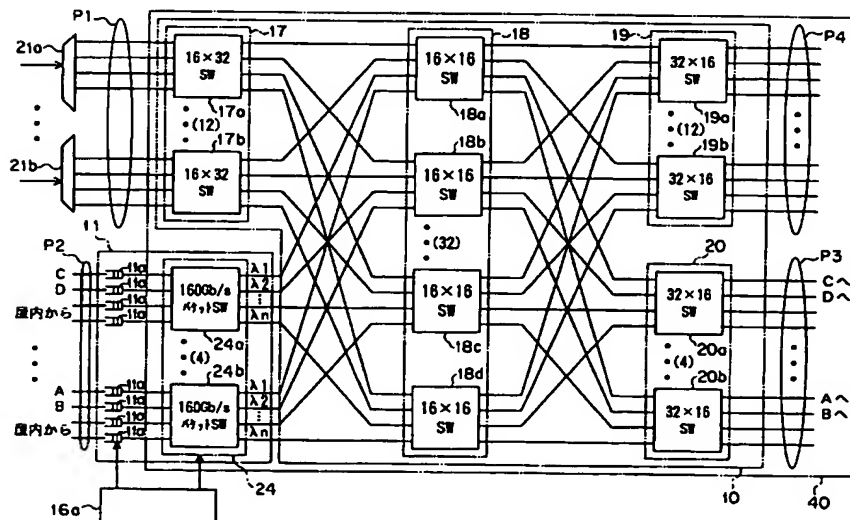
24a~24b, 24'a~24'b, 31a~31b, 31'a~31'b パケットスイッチ  
 31 第2パケットスイッチ  
 31c, 31'c, 33c, 33'c, 38a 光アンプ  
 33a~33b 8×16スイッチ  
 33'a~33'b k×2kスイッチ  
 33, 33' 第5空間スイッチ  
 34, 34' 光分岐部  
 34a~34b, 34'a~34'b 光カップラ  
 35, 35' 第6空間スイッチ  
 35a~35b, 36a~36b 16×8スイッチ

35'a~35'b, 36'a~36'b 2k×kス  
 イッチ  
 36 第7空間スイッチ  
 37, 37' 波長選択部  
 37a~37d, 37'a~37'd 光フィルタ  
 40, 40a, 40b, 40c 空間スイッチ部  
 50, 52, 53 波長パス網  
 51 ノード模型  
 51a 光IPノード格子  
 55a, 55b, 56a, 56b 波長パス  
 92 単位スイッチ

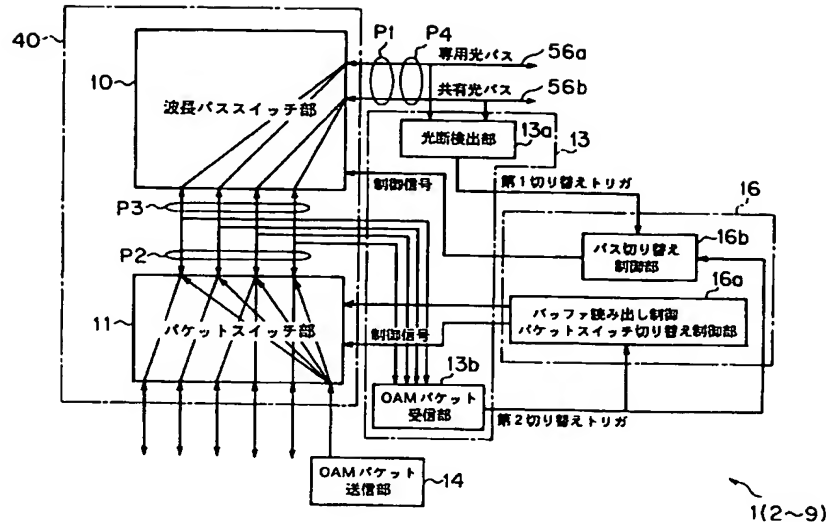
【図1】



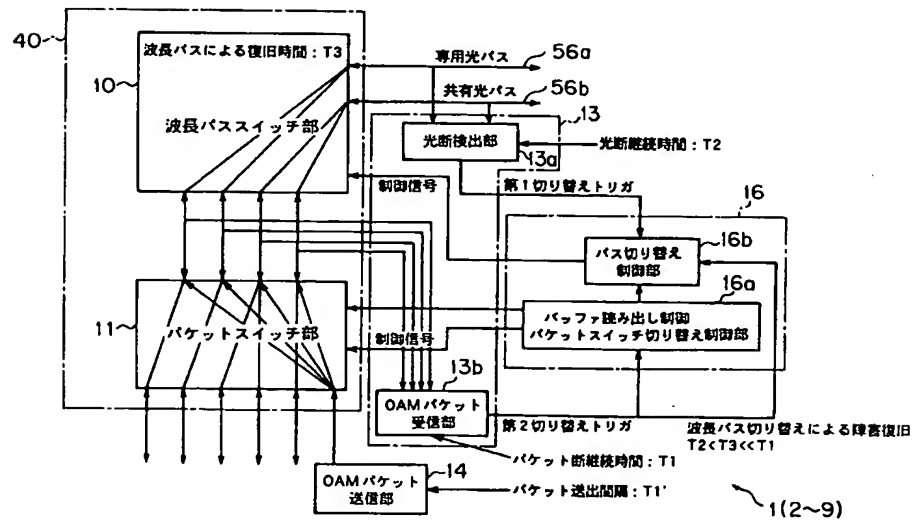
【図2】



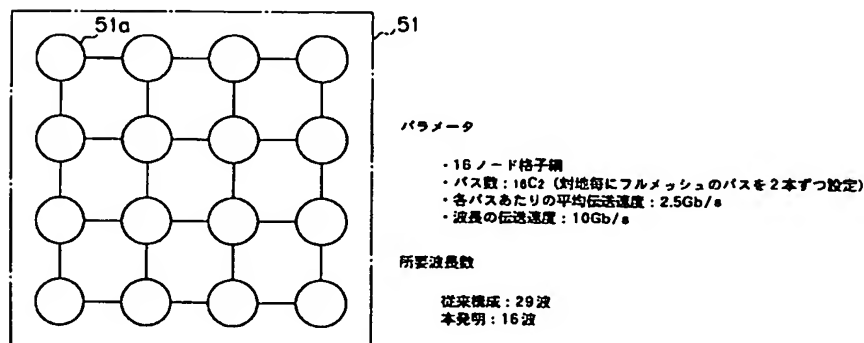
【図 3】



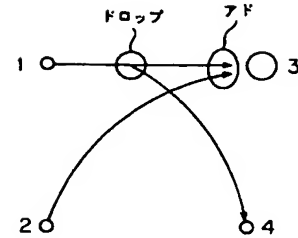
【図 4】



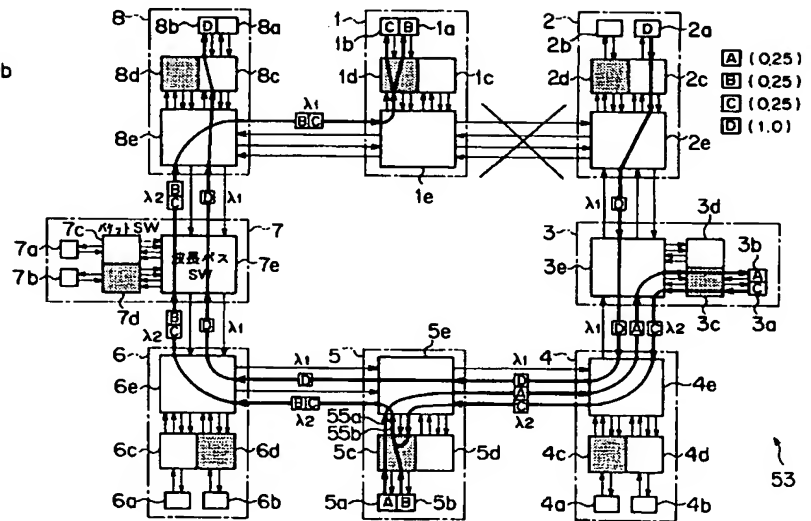
【図 2 1】



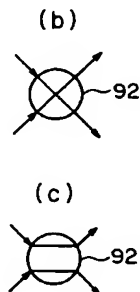
【图 23】



【図 20】



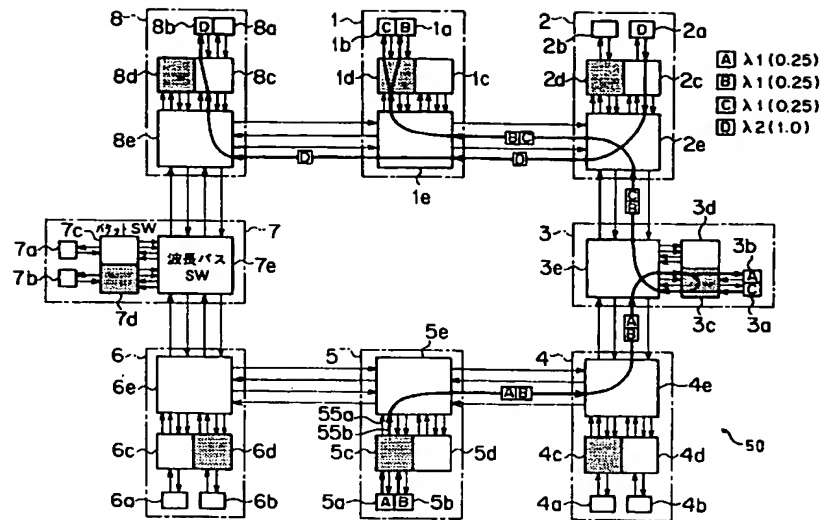
【図 22】



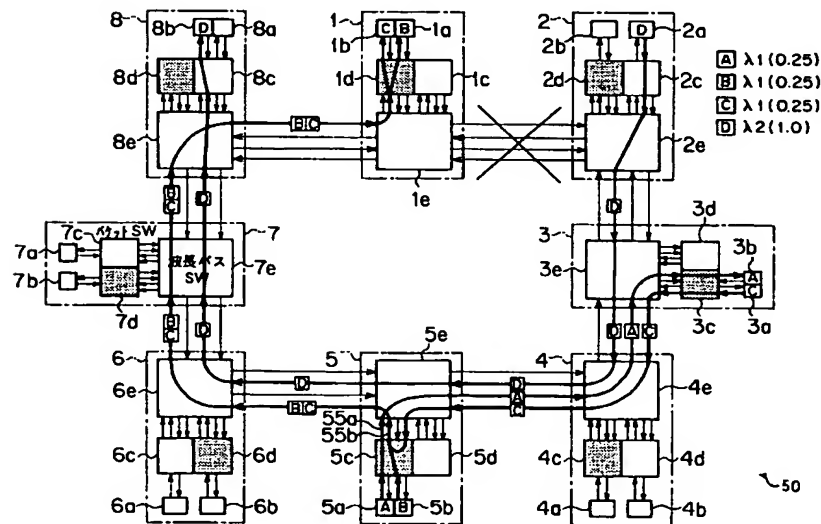
	一般式	具体例
従来構成	$(n \times 2n)2k + (k \times k)2n + (A/b)3n$	42978
本発明 (3段スイッチ構成)	$(n \times 2n)2k + (k \times k)2n$	36834

- ・波長多重数  $n$ : 32 波
- ・入出力伝送路  $k$ : 8
- ・パケットスイッチの容量  $A$ : 320 Gb/s
- ・パケットスイッチの数  $m$ : 2
- ・伝送速度  $b$ : 10 Gb/s

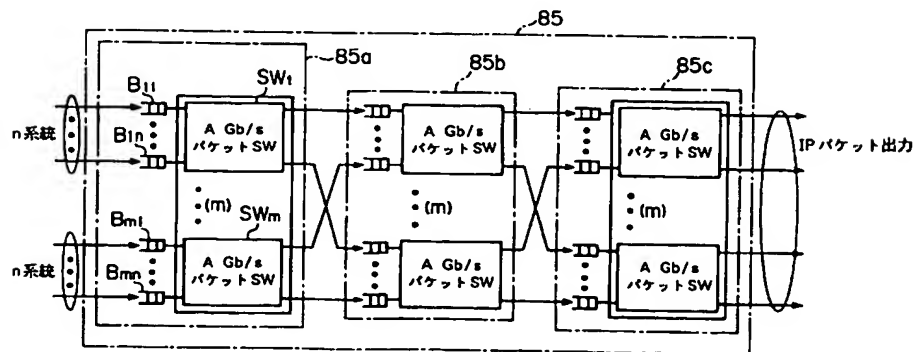
【図 7】



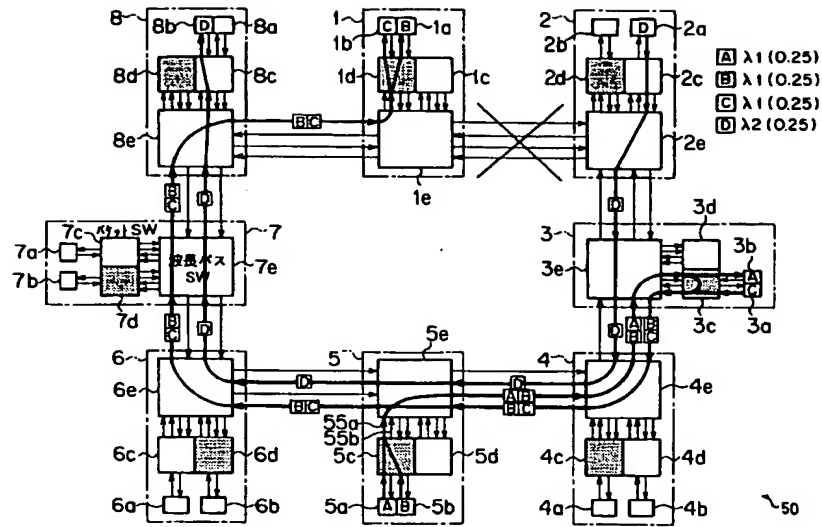
【図 8】



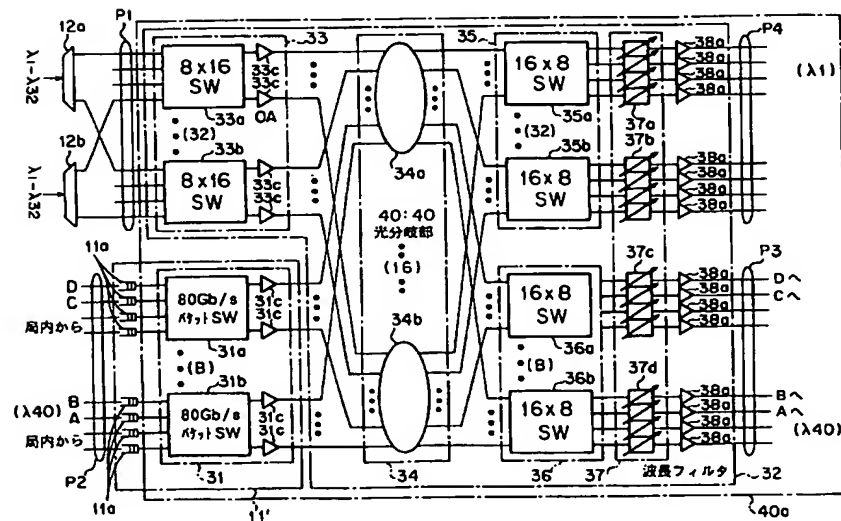
【図 26】



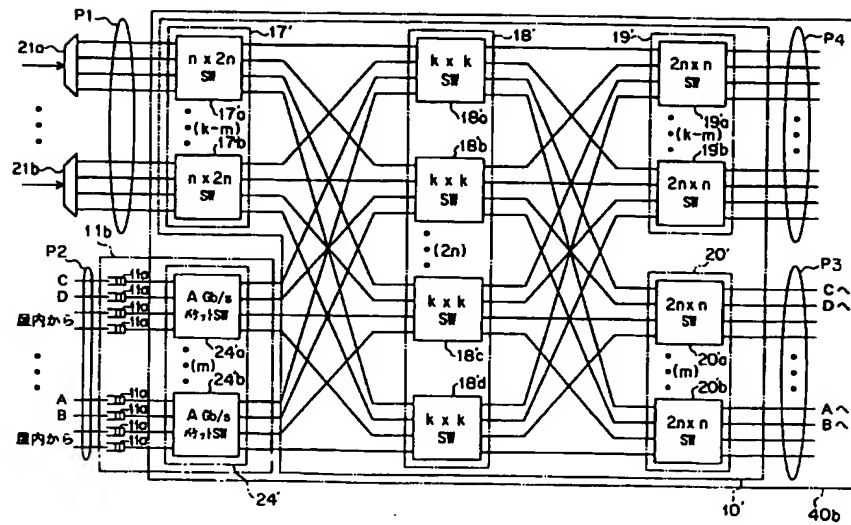
【図9】



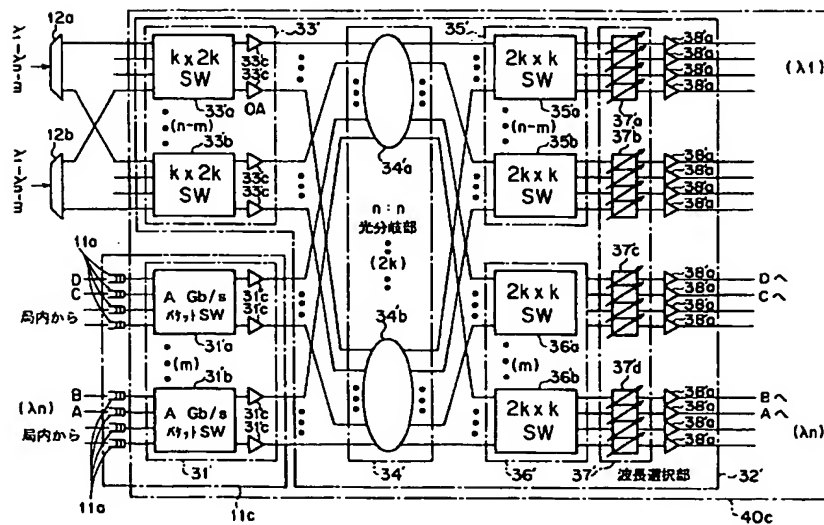
【図10】



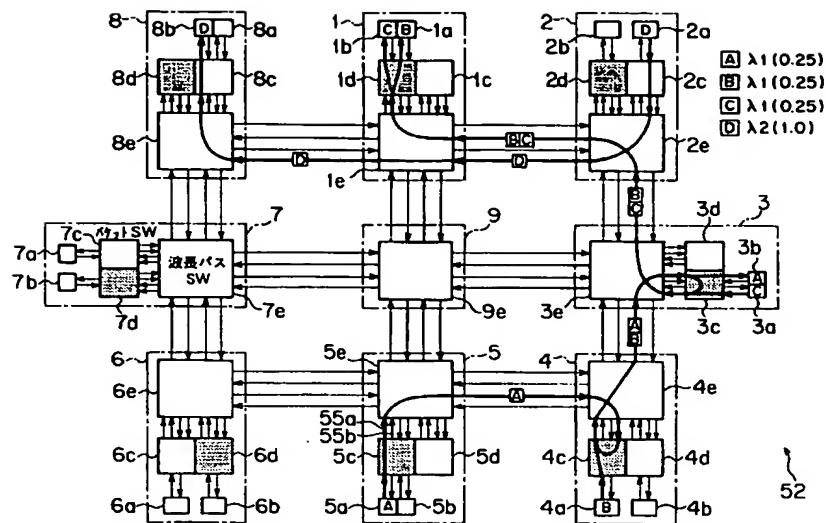
【図 11】



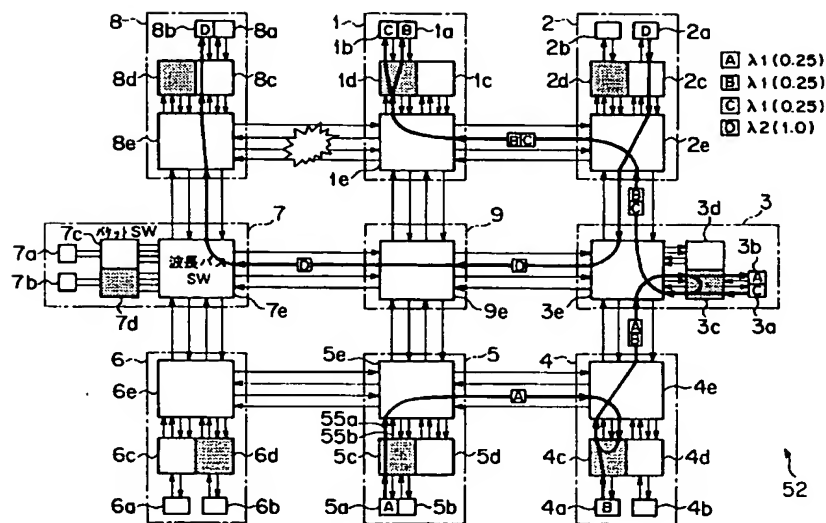
【図 12】



【図 13】

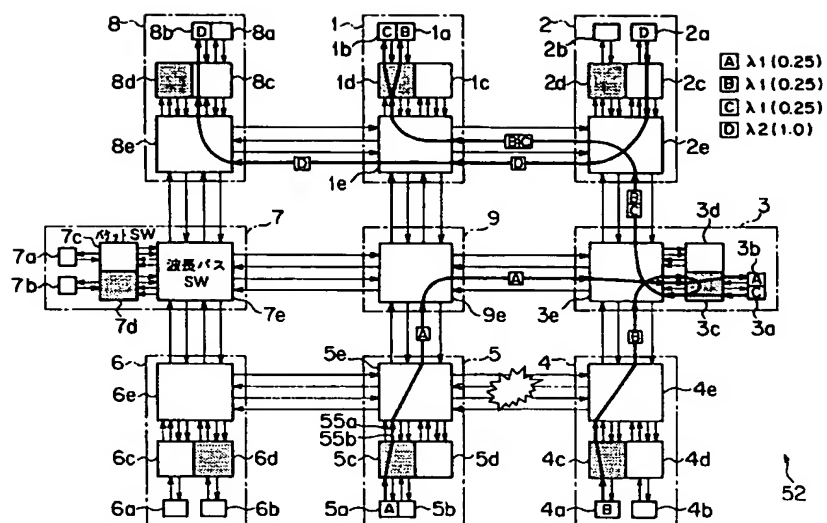


【図 14】

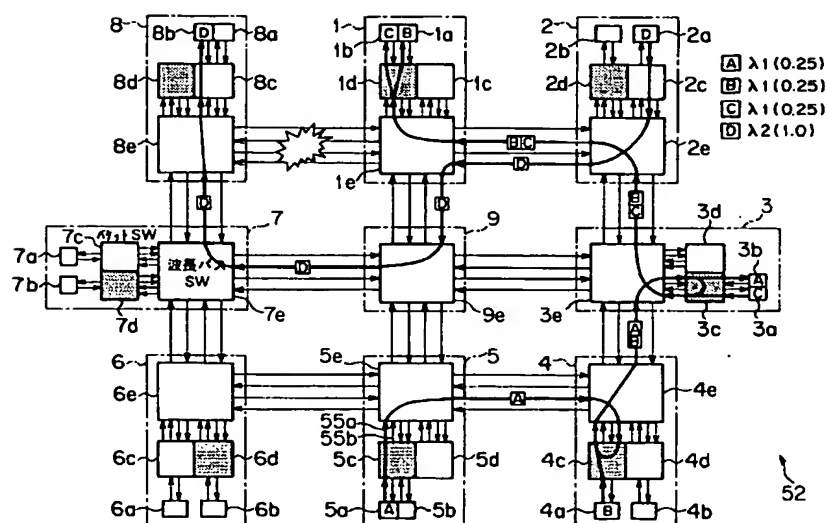




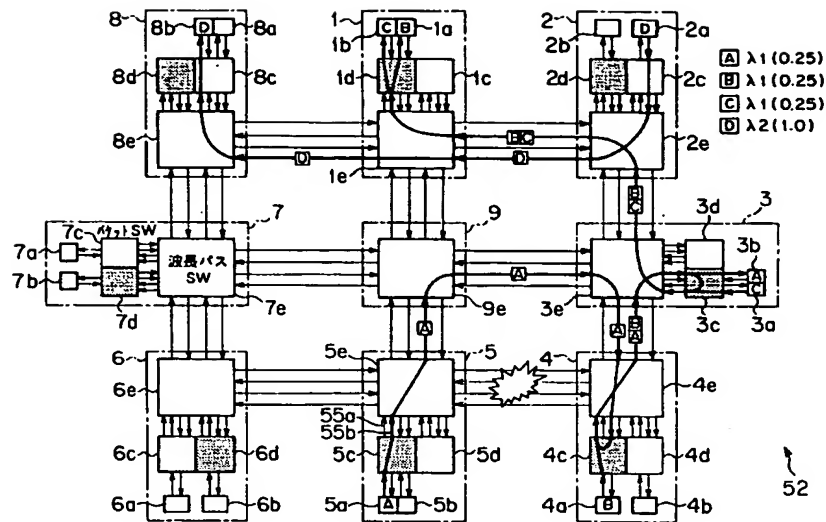
【図15】



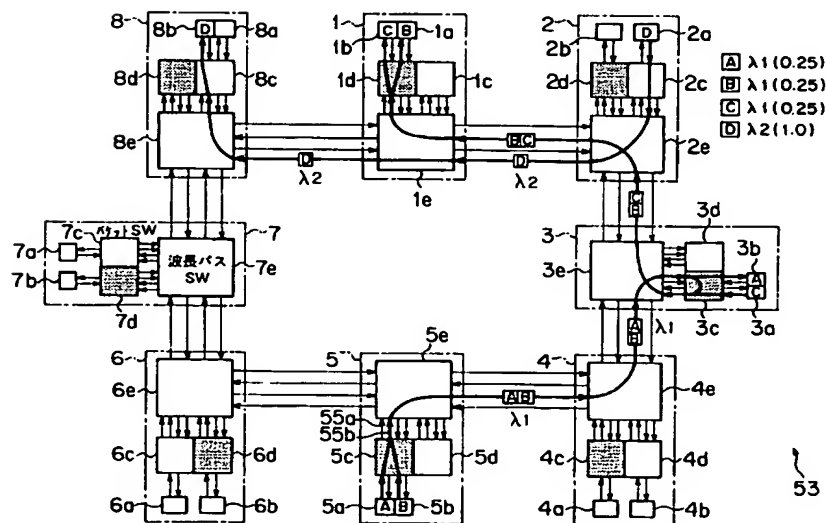
【図16】



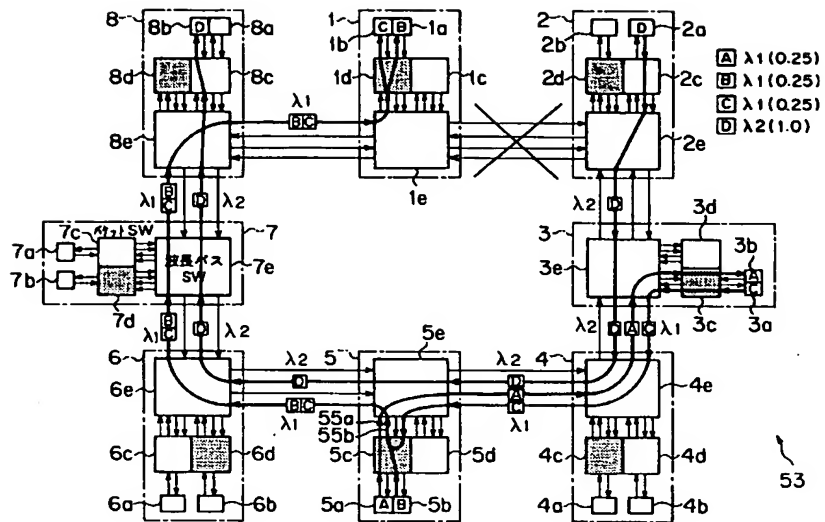
【図17】



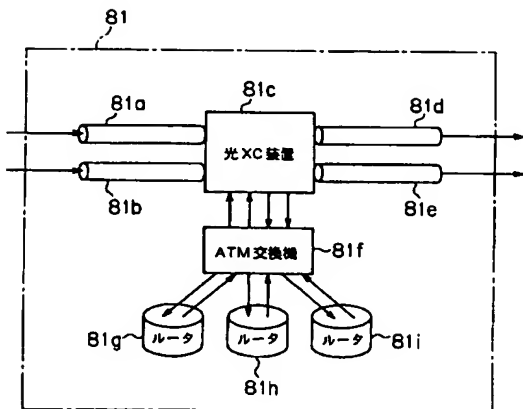
【図18】



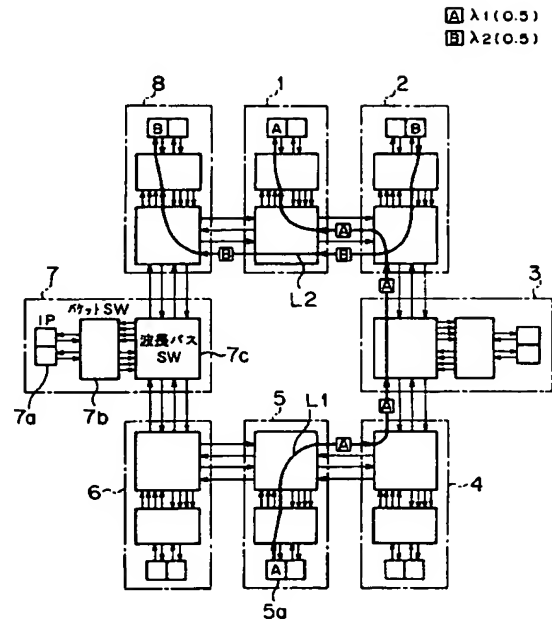
【図19】



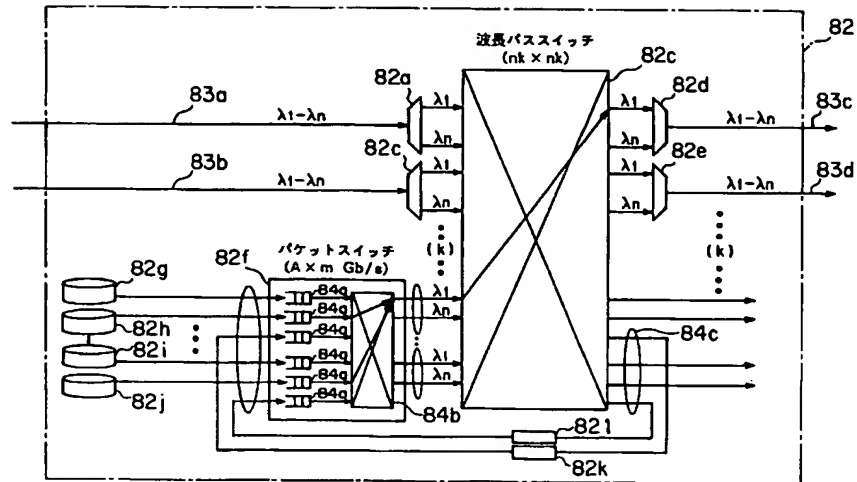
【図24】



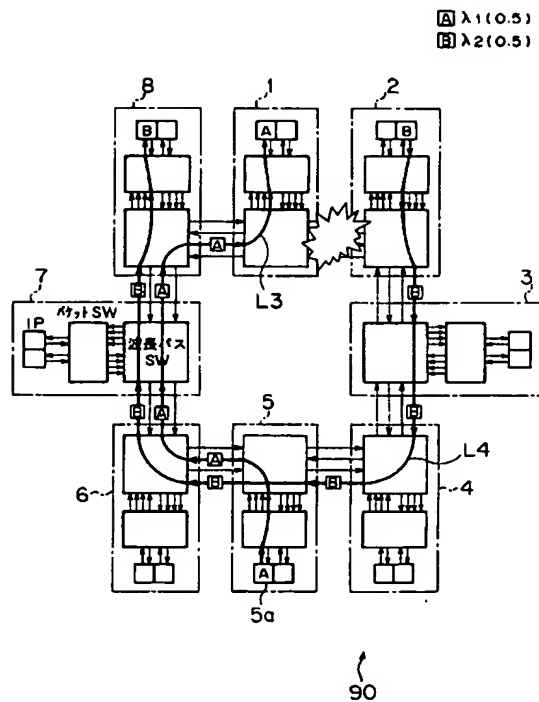
【図27】



【図 25】



【図 28】



フロントページの続き

(51) Int. Cl.<sup>7</sup>

H04L 12/28  
12/437  
12/24  
12/26

識別記号

F I

H04L 11/00  
11/08  
11/20

テーマコード(参考)

310D 5K069  
331  
H

H O 4 Q 3/52

D

F ターム(参考) 5K002 AA05 BA04 BA05 BA06 DA02  
DA05 DA11 DA13 EA03 EA05  
FA01 GA03  
5K030 GA03 GA12 HA08 JA01 JA12  
JA14 JL03 KX09 KX17 KX20  
LA17 LB05 MA04 MB01 MD02  
5K031 AA02 AA08 CA15 CB10 DA11  
DA19 DB01 DB10 DB12 EA03  
EB02 EB05  
5K033 AA01 AA06 CA17 CB06 DB03  
DB12 DB17 DB22 EA02 EA04  
EB02 EB06  
5K042 AA01 BA02 BA10 CA10 CA13  
CA16 DA18 FA01 JA01 JA08  
LA09 LA12 LA13 LA15 MA01  
5K069 AA16 BA09 CB04 CB10 DB01  
DB33 EA24 EA25